

## PATENT COOPERATION TREATY

PCT

NOTIFICATION OF RECEIPT OF  
RECORD COPY

(PCT Rule 24.2(a))

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

KOIKE, Akira  
No.11 Mori Bldg., 6-4, Toranomom 2-  
chome  
Minato-ku, Tokyo 105-0001  
JAPON

Date of mailing (day/month/year) 01 May 2001 (01.05.01)	IMPORTANT NOTIFICATION
Applicant's or agent's file reference SK01PCT38	International application No. PCT/JP01/02895

The applicant is hereby notified that the International Bureau has received the record copy of the international application as detailed below.

Name(s) of the applicant(s) and State(s) for which they are applicants:

SONY CORPORATION (for all designated States except US)

HATTORI, Yuichi (for US)

YAMAGUCHI, Jinichi (all designated States)

International filing date : 03 April 2001 (03.04.01)

Priority date(s) claimed : 03 April 2000 (03.04.00)

Date of receipt of the record copy  
by the International Bureau : 17 April 2001 (17.04.01)

List of designated Offices :

National : CN, US

## ATTENTION

The applicant should carefully check the data appearing in this Notification. In case of any discrepancy between these data and the indications in the international application, the applicant should immediately inform the International Bureau.

In addition, the applicant's attention is drawn to the information contained in the Annex, relating to:

- ☒ time limits for entry into the national phase
- ☒ confirmation of precautionary designations
- ☐ requirements regarding priority documents

A copy of this Notification is being sent to the receiving Office and to the International Searching Authority.

The International Bureau of WIPO  
34, chemin des Colombettes  
1211 Geneva 20, Switzerland

Facsimile No. (41-22) 740.14.35

Authorized officer:

Shinji IGARASHI

Telephone No. (41-22) 338.83.38

**This Page Blank (uspto)**

## INFORMATION ON TIME LIMITS FOR ENTERING THE NATIONAL PHASE

The applicant is reminded that the "national phase" must be entered before each of the designated Offices indicated in the Notification of Receipt of Record Copy (Form PCT/IB/301) by paying national fees and furnishing translations, as prescribed by the applicable national laws.

The time limit for performing these procedural acts is **20 MONTHS** from the priority date or, for those designated States which the applicant elects in a demand for international preliminary examination or in a later election, **30 MONTHS** from the priority date, provided that the election is made before the expiration of 19 months from the priority date. Some designated (or elected) Offices have fixed time limits which expire even later than 20 or 30 months from the priority date. In other Offices an extension of time or grace period, in some cases upon payment of an additional fee, is available.

In addition to these procedural acts, the applicant may also have to comply with other special requirements applicable in certain Offices. **It is the applicant's responsibility** to ensure that the necessary steps to enter the national phase are taken in a timely fashion. Most designated Offices do not issue reminders to applicants in connection with the entry into the national phase.

**For detailed information about the procedural acts to be performed to enter the national phase before each designated Office, the applicable time limits and possible extensions of time or grace periods, and any other requirements, see the relevant Chapters of Volume II of the PCT Applicant's Guide. Information about the requirements for filing a demand for international preliminary examination is set out in Chapter IX of Volume I of the PCT Applicant's Guide.**

GR and ES became bound by PCT Chapter II on 7 September 1996 and 6 September 1997, respectively, and may, therefore, be elected in a demand or a later election filed on or after 7 September 1996 and 6 September 1997, respectively, regardless of the filing date of the international application. (See second paragraph above.)

Note that only an applicant who is a national or resident of a PCT Contracting State which is bound by Chapter II has the right to file a demand for international preliminary examination.

## CONFIRMATION OF PRECAUTIONARY DESIGNATIONS

This notification lists only specific designations made under Rule 4.9(a) in the request. It is important to check that these designations are correct. Errors in designations can be corrected where precautionary designations have been made under Rule 4.9(b). The applicant is hereby reminded that any precautionary designations may be confirmed according to Rule 4.9(c) before the expiration of 15 months from the priority date. If it is not confirmed, it will automatically be regarded as withdrawn by the applicant. There will be no reminder and no invitation. Confirmation of a designation consists of the filing of a notice specifying the designated State concerned (with an indication of the kind of protection or treatment desired) and the payment of the designation and confirmation fees. Confirmation must reach the receiving Office within the 15-month time limit.

## REQUIREMENTS REGARDING PRIORITY DOCUMENTS

For applicants who have not yet complied with the requirements regarding priority documents, the following is recalled.

Where the priority of an earlier national, regional or international application is claimed, the applicant must submit a copy of the said earlier application, certified by the authority with which it was filed ("the priority document") to the receiving Office (which will transmit it to the International Bureau) or directly to the International Bureau, before the expiration of 16 months from the priority date, provided that any such priority document may still be submitted to the International Bureau before that date of international publication of the international application, in which case that document will be considered to have been received by the International Bureau on the last day of the 16-month time limit (Rule 17.1(a)).

Where the priority document is issued by the receiving Office, the applicant may, instead of submitting the priority document, request the receiving Office to prepare and transmit the priority document to the International Bureau. Such request must be made before the expiration of the 16-month time limit and may be subjected by the receiving Office to the payment of a fee (Rule 17.1(b)).

If the priority document concerned is not submitted to the International Bureau or if the request to the receiving Office to prepare and transmit the priority document has not been made (and the corresponding fee, if any, paid) within the applicable time limit indicated under the preceding paragraphs, any designated State may disregard the priority claim, provided that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.

Where several priorities are claimed, the priority date to be considered for the purposes of computing the 16-month time limit is the filing date of the earliest application whose priority is claimed.

**This Page Blank (uspto)**

## P A T E N T C O O P E R A T I O N T R E A T Y

PCT

NOTIFICATION CONCERNING  
SUBMISSION OR TRANSMITTAL  
OF PRIORITY DOCUMENT

(PCT Administrative Instructions, Section 411)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

KOIKE, Akira  
No.11 Mori Bldg., 6-4, Toranomom 2-  
chome  
Minato-ku, Tokyo 105-0001  
JAPON

Date of mailing (day/month/year) 01 May 2001 (01.05.01)	<b>IMPORTANT NOTIFICATION</b>
Applicant's or agent's file reference SK01PCT38	
International application No. PCT/JP01/02895	
International publication date (day/month/year) Not yet published	
Applicant SONY CORPORATION et al	International filing date (day/month/year) 03 April 2001 (03.04.01)  Priority date (day/month/year) 03 April 2000 (03.04.00)

1. The applicant is hereby notified of the date of receipt (except where the letters "NR" appear in the right-hand column) by the International Bureau of the priority document(s) relating to the earlier application(s) indicated below. Unless otherwise indicated by an asterisk appearing next to a date of receipt, or by the letters "NR", in the right-hand column, the priority document concerned was submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b).
2. This updates and replaces any previously issued notification concerning submission or transmittal of priority documents.
3. An asterisk(\*) appearing next to a date of receipt, in the right-hand column, denotes a priority document submitted or transmitted to the International Bureau but not in compliance with Rule 17.1(a) or (b). In such a case, **the attention of the applicant is directed** to Rule 17.1(c) which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.
4. The letters "NR" appearing in the right-hand column denote a priority document which was not received by the International Bureau or which the applicant did not request the receiving Office to prepare and transmit to the International Bureau, as provided by Rule 17.1(a) or (b), respectively. In such a case, **the attention of the applicant is directed** to Rule 17.1(c) which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.

<u>Priority date</u>	<u>Priority application No.</u>	<u>Country or regional Office or PCT receiving Office</u>	<u>Date of receipt of priority document</u>
03 April 2000 (03.04.00)	2000/100708	JP	17 April 2001 (17.04.01)

The International Bureau of WIPO  
34, chemin des Colombettes  
1211 Geneva 20, Switzerland

Facsimile No. (41-22) 740.14.35

Authorized officer

Shinji IGARASHI

Telephone No. (41-22) 338.83.38

**This Page Blank (uspto)**

# P NT COOPERATION TREA

## PCT

### NOTICE INFORMING THE APPLICANT OF THE COMMUNICATION OF THE INTERNATIONAL APPLICATION TO THE DESIGNATED OFFICES

(PCT Rule 47.1(c), first sentence)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

KOIKE, Akira  
No.11 Mori Bldg., 6-4, Toranomon 2-  
chome  
Minato-ku, Tokyo 105-0001  
JAPON

Date of mailing (day/month/year) 11 October 2001 (11.10.01)		
Applicant's or agent's file reference SK01PCT38		IMPORTANT NOTICE
International application No. PCT/JP01/02895	International filing date (day/month/year) 03 April 2001 (03.04.01)	Priority date (day/month/year) 03 April 2000 (03.04.00)
Applicant SONY CORPORATION et al		

1. Notice is hereby given that the International Bureau has communicated, as provided in Article 20, the international application to the following designated Offices on the date indicated above as the date of mailing of this Notice:

US

In accordance with Rule 47.1(c), third sentence, those Offices will accept the present Notice as conclusive evidence that the communication of the international application has duly taken place on the date of mailing indicated above and no copy of the international application is required to be furnished by the applicant to the designated Office(s).

2. The following designated Offices have waived the requirement for such a communication at this time:

CN

The communication will be made to those Offices only upon their request. Furthermore, those Offices do not require the applicant to furnish a copy of the international application (Rule 49.1(a-bis)).

3. Enclosed with this Notice is a copy of the international application as published by the International Bureau on 11 October 2001 (11.10.01) under No. WO 01/74546

#### REMINDER REGARDING CHAPTER II (Article 31(2)(a) and Rule 54.2)

If the applicant wishes to postpone entry into the national phase until 30 months (or later in some Offices) from the priority date, a **demand for international preliminary examination** must be filed with the competent International Preliminary Examining Authority before the expiration of 19 months from the priority date.

It is the applicant's sole responsibility to monitor the 19-month time limit.

Note that only an applicant who is a national or resident of a PCT Contracting State which is bound by Chapter II has the right to file a demand for international preliminary examination.

#### REMINDER REGARDING ENTRY INTO THE NATIONAL PHASE (Article 22 or 39(1))

If the applicant wishes to proceed with the international application in the **national phase**, he must, within 20 months or 30 months, or later in some Offices, perform the acts referred to therein before each designated or elected Office.

For further important information on the time limits and acts to be performed for entering the national phase, see the Annex to Form PCT/IB/301 (Notification of Receipt of Record Copy) and Volume II of the PCT Applicant's Guide.

<p>The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland</p> <p>Facsimile No. (41-22) 740.14.35</p>	<p>Authorized officer J. Zahra</p> <p>Telephone No. (41-22) 338.83.38</p>
---	---

**This Page Blank (uspto)**



P C T

U S

## 国際調査報告

(法8条、法施行規則第40、41条)  
[PCT18条、PCT規則43、44]

出願人又は代理人 の書類記号 SK01PCT38	今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(PCT/ISA/220)及び下記5を参照すること。	
国際出願番号 PCT/JPO1/02895	国際出願日 (日.月.年) 03.04.01	優先日 (日.月.年) 03.04.00
出願人(氏名又は名称) ソニー株式会社		

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条(PCT18条)の規定に従い出願人に送付する。  
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 2 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

## 1. 国際調査報告の基礎

a. 言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願がされたものに基づき国際調査を行った。

☐ この国際調査機関に提出された国際出願の翻訳文に基づき国際調査を行った。

b. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際調査を行った。

☐ この国際出願に含まれる書面による配列表

☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出された書面による配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。

☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記録した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

2. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない(第I欄参照)。

3. ☐ 発明の単一性が欠如している(第II欄参照)。

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 第III欄に示されているように、法施行規則第47条(PCT規則38.2(b))の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から1カ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 要約書とともに公表される図は、  
第 13 図とする。 ☒ 出願人が示したとおりである。

☐ なし

☐ 出願人は図を示さなかった。


☐ 本図は発明の特徴を一層よく表している。

**This Page Blank (uspto)**

## 特許協力条約に基づく国際出願願書

SK01PCT38

副本 - 印刷日時 2001年04月03日 (03.04.2001) 火曜日 15時05分14秒

0 0-1	受理官庁記入欄 国際出願番号.	
0-2	国際出願日	
0-3	(受付印)	
0-4 0-4-1	様式-PCT/R0/101 この特許協力条約に基づく国際 出願願書は、 右記によって作成された。	PCT-EASY Version 2.91 (updated 01.01.2001)
0-5	申立て 出願人は、この国際出願が特許 協力条約に従って処理されるこ とを請求する。	
0-6	出願人によって指定された受理 官庁	日本国特許庁 (R0/JP)
0-7	出願人又は代理人の書類記号	SK01PCT38
I	発明の名称	脚式移動ロボット及びその制御方法、並びに、脚式移 動ロボット用相対移動測定センサ
II II-1 II-2 II-4ja II-4en II-5ja II-5en II-6 II-7	出願人 この欄に記載した者は 右の指定国についての出願人で ある。 名称 Name あて名:  Address:  国籍 (国名) 住所 (国名)	出願人である (applicant only) 米国を除くすべての指定国 (all designated States except US) ソニー株式会社 SONY CORPORATION 141-0001 日本国 東京都 品川区 北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 7-35, Kitashinagawa 6-chome Shinagawa-ku, Tokyo 141-0001 Japan 日本国 JP 日本国 JP

**This Page Blank (uspto)**

III-1	その他の出願人又は発明者 この欄に記載した者は 右の指定国についての出願人である。	出願人及び発明者である (applicant and inventor) 米国のみ (US only)
III-1-1	氏名(姓名)	服部 裕一
III-1-2	Name (LAST, First)	HATTORI, Yuichi
III-1-4ja	あて名:	141-0001 日本国
III-1-4en		東京都 品川区
III-1-5ja		北品川 6丁目7番35号
III-1-5en	Address:	ソニー株式会社内 c/o SONY CORPORATION 7-35, Kitashinagawa 6-chome Shinagawa-ku, Tokyo 141-0001 Japan
III-1-6	国籍 (国名)	日本国 JP
III-1-7	住所 (国名)	日本国 JP
III-2	その他の出願人又は発明者 この欄に記載した者は 右の指定国についての出願人である。	出願人及び発明者である (applicant and inventor) すべての指定国 (all designated States)
III-2-1	氏名(姓名)	山口 仁一
III-2-2	Name (LAST, First)	YAMAGUCHI, Jinichi
III-2-4ja	あて名:	191-0062 日本国
III-2-4en		東京都 日野市
III-2-5ja		多摩平 5丁目14番38号
III-2-5en	Address:	14-38, Tamadaira 5-chome Hino-shi, Tokyo 191-0062 Japan
III-2-6	国籍 (国名)	日本国 JP
III-2-7	住所 (国名)	日本国 JP
IV-1	代理人又は共通の代表者、通知 のあて名 下記の者は国際機関において右 記のごとく出願人のために行動 する。	代理人 (agent)
IV-1-1ja	氏名(姓名)	小池 晃
IV-1-1en	Name (LAST, First)	KOIKE, Akira
IV-1-2ja	あて名:	105-0001 日本国
IV-1-2en	Address:	東京都 港区 虎ノ門二丁目6番4号 第11森ビル No.11 Mori Bldg., 6-4, Toranomom 2-chome Minato-ku, Tokyo 105-0001 Japan
IV-1-3	電話番号	03-3508-8266
IV-1-4	ファクシミリ番号	03-3508-0439
IV-2	その他の代理人	筆頭代理人と同じあて名を有する代理人 (additional agent(s) with same address as first named agent)
IV-2-1ja	氏名	田村 榮一; 伊賀 誠司
IV-2-1en	Name(s)	TAMURA, Eiichi; IGA, Seiji

**This Page Blank (uspto)**

## 特許協力条約に基づく国際出願願書

SK01PCT38

副本 - 印刷日時 2001年04月03日 (03.04.2001) 火曜日 15時05分14秒

V	国の指定		
V-1	広域特許 (他の種類の保護又は取扱いを 求める場合には括弧内に記載す る。)	---	
V-2	国内特許 (他の種類の保護又は取扱いを 求める場合には括弧内に記載す る。)	CN US	
V-5	指定の確認の宣言 出願人は、上記の指定に加えて 、規則4.9(b)の規定に基づき、 特許協力条約のもとで認められ る他の全ての国の指定を行う。 ただし、V-6欄に示した国の指 定を除く。出願人は、これらの 追加される指定が確認を条件と していること、並びに優先日か ら15月が経過する前にその確認 がなされない指定は、この期間 の経過時に、出願人によって取 り下げられたものとみなされる ことを宣言する。		
V-6	指定の確認から除かれる国	なし (NONE)	
VI-1	先の国内出願に基づく優先権主 張		
VI-1-1	先の出願日	2000年04月03日 (03.04.2000)	
VI-1-2	先の出願番号	特願2000-100708	
VI-1-3	国名	日本国 JP	
VII-1	特定された国際調査機関(ISA)	日本国特許庁 (ISA/JP)	
VIII	照合欄	用紙の枚数	添付された電子データ
VIII-1	願書	4	-
VIII-2	明細書	35	-
VIII-3	請求の範囲	5	-
VIII-4	要約	1	absk01pct38.txt
VIII-5	図面	22	-
VIII-7	合計	67	
VIII-8	添付書類	添付	添付された電子データ
VIII-8	手数料計算用紙	✓	-
VIII-10	包括委任状の写し	✓	-
VIII-12	優先権証明書	優先権証明書 VI-1	-
VIII-16	PCT-EASYディスク	-	フレキシブルディスク
VIII-17	その他	納付する手数料に相当す る特許印紙を貼付した書 面	-
VIII-18	要約書とともに提示する図の番 号	13	
VIII-19	国際出願の使用言語名:	日本語 (Japanese)	
IX-1	提出者の記名押印		
IX-1-1	氏名(姓名)	小池 晃	
IX-2	提出者の記名押印		
IX-2-1	氏名(姓名)	田村 榮一	

**This Page Blank (uspto)**



## 特許協力条約に基づく国際出願願書

SK01PCT38

副本 - 印刷日時 2001年04月03日 (03.04.2001) 火曜日 15時05分14秒

IX-3	提出者の記名押印	
IX-3-1	氏名(姓名)	伊賀 誠司

## 受理官庁記入欄

10-1	国際出願として提出された書類 の実際の受理の日	
10-2	図面 :	
10-2-1	受理された	
10-2-2	不足図面がある	
10-3	国際出願として提出された書類 を補完する書類又は図面であつ てその後期間内に提出されたも のの実際の受理の日(訂正日)	
10-4	特許協力条約第11条(2)に基づ く必要な補完の期間内の受理の 日	
10-5	出願人により特定された国際調 査機関	ISA/JP
10-6	調査手数料未払いにつき、国際 調査機関に調査用写しを送付し ていない	

## 国際事務局記入欄

11-1	記録原本の受理の日	
------	-----------	--

**This Page Blank (uspto)**

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2001 年10 月11 日 (11.10.2001)

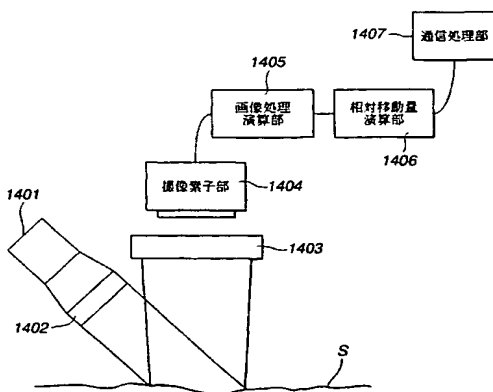
PCT

(10) 国際公開番号  
WO 01/74546 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: B25J 5/00 (72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 服部裕一 (HATTORI, Yuichi) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP01/02895
- (22) 国際出願日: 2001 年4 月3 日 (03.04.2001) (74) 代理人: 小池 晃, 外(KOIKE, Akira et al.); 〒105-0001 東京都港区虎ノ門二丁目6番4号 第11森ビル Tokyo (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語 (81) 指定国 (国内): CN, US.
- (30) 優先権データ: 添付公開書類:  
特願2000-100708 2000 年4 月3 日 (03.04.2000) JP — 国際調査報告書
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 Tokyo (JP). 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。
- (71) 出願人 および  
(72) 発明者: 山口仁一 (YAMAGUCHI, Jinichi) [JP/JP]; 〒191-0062 東京都日野市多摩平5丁目14番38号 Tokyo (JP).

(54) Title: ROBOT MOVING ON LEGS AND CONTROL METHOD THEREFOR, AND RELATIVE MOVEMENT MEASURING SENSOR FOR ROBOT MOVING ON LEGS

(54) 発明の名称: 脚式移動ロボット及びその制御方法、並びに、脚式移動ロボット用相対移動測定センサ



1407...COMMUNICATION PROCESSING UNIT  
1406...RELATIVE MOVEMENT DISTANCE COMPUTING UNIT  
1405...IMAGE PROCESSING/COMPUTING UNIT  
1404...IMAGING DEVICE UNIT

(57) Abstract: A robot moving on legs, which is provided with a plurality of movable legs, and which has, both provided at the foot of each movable leg, a road surface contact sensor for checking a ground contact condition between a foot and a road surface and also a relative movement measuring sensor for measuring a relative movement between a road surface and a ground-contacting leg. The robot is controlled in its operation based on a relative movement distance between a foot and a road surface as measured by the relative movement measuring sensor, whereby an adaptive operation control is permitted to perform an operation even when an actual path is deviated from a scheduled or planned path.

WO 01/74546 A1



---

(57) 要約:

少なくとも複数本の可動脚を備えた脚式移動ロボットであり、このロボットは、各可動脚の足部に、足部と路面との接地状態を確認するための路面接地センサに加えて、路面と接地脚との間の相対移動を測定するための相対移動測定センサが配設されている。ロボットは、相対移動測定センサにより測定された足部と路面との相対移動量に基づいて動作が制御されることにより、予定又は計画された軌道と実際の起動との間にずれが発生した場合であっても、適応的に動作制御が行われて動作が実行される。

## 明細書

脚式移動ロボット及びその制御方法、並びに、脚式移動ロボット用相対移動測定センサ

### 技術分野

本発明は、少なくとも複数本の可動脚を備えた脚式移動ロボットに係り、特に、様々な路面上を可動脚によって歩行その他の脚式移動作業を行う脚式移動ロボットに関し、更に詳しくは、表面状態が不知の路面上を可動脚によって歩行その他の脚式移動作業を行う脚式移動ロボットであり、特に、路面の表面状態に応じて適応的な脚式移動作業を行う脚式移動ロボット関する。

### 背景技術

電氣的若しくは磁氣的な作用を用いて人間の動作に似せた運動を行う機械装置のことを「ロボット」という。ロボットの語源は、スラブ語の”R O B O T A (奴隷機械)”に由来すると言われている。わが国においてロボットが普及し始めたのは1960年代末からであるが、その多くは、工場における生産作業の自動化・無人化などを目的としたマニピュレータや搬送ロボットなどの産業用ロボット (Industrial Robot) であった。

アーム式ロボットのように、ある特定の場所に植設して用いるような据置きタイプのロボットは、部品の組立・選別作業など固定的・局所的な作業空間でのみ活動する。これに対し、移動式のロボットは、作業空間は非限定的であり、所定の経路上又は無経路上を自在に移動して、所定の若しくは任意の人的作業を代行したり、ヒトやイヌあるいはその他の生命体に置き換わる種々の幅広いサービスを提供することができる。なかでも脚式の移動ロボットは、クローラ式やタイヤ式のロボットに比し不安定で姿勢制御や歩行制御が難しくなるが、階段や梯子の昇降や障害物の乗り越えや、整地・不整地の区別を問わない柔軟な歩行・走行動

作を実現できるという点で優れている。

最近では、イヌやネコのように4足歩行の動物の身体メカニズムやその動作を模したペット型ロボット、あるいは、ヒトのような2足直立歩行を行う動物の身体メカニズムや動作をモデルにしてデザインされた「人間形」若しくは「人間型」のロボット (Humanoid Robot) など、脚式移動ロボットに関する研究開発が進展し、実用化への期待も高まってきている。

人間形若しくは人間型と呼ばれる脚式移動ロボットを研究・開発する意義を、例えば以下の2つの視点から把握することができよう。

1つは、人間科学的な視点である。すなわち、人間の下肢及び／又は上肢に似た構造のロボットを作り、その制御方法を考案して、人間の歩行動作をシミュレートするというプロセスを通じて、歩行を始めとする人間の自然な動作のメカニズムを工学的に解明することができる。このような研究成果は、人間工学、リハビリテーション工学、あるいはスポーツ科学など、人間の運動メカニズムを扱う他のさまざまな研究分野の進展に大いに還元することができるであろう。

もう1つは、人間のパートナーとして生活を支援する、すなわち住環境その他の日常生活上の様々な場面における人的活動の支援を行う実用ロボットの開発である。この種のロボットは、人間の生活環境のさまざまな局面において、人間から教わりながら個々に個性の相違する人間又は環境への適応方法を学習し、機能面でさらに成長していく必要がある。このとき、ロボットが「人間形」すなわち人間と同じ形又は同じ構造をしている方が、人間とロボットとのスムーズなコミュニケーションを行う上で有効に機能するものと考えられる。

例えば、踏んではならない障害物を避けながら部屋を通り抜ける方法を実地においてロボットに教示するような場合、クローラ式や4足式ロボットのように教える相手が自分と全く違う構造をしているよりも、同じような格好をしている2足歩行ロボットの方が、ユーザ（作業員）ははるかに教え易く、またロボットにとっても教わり易い筈である（例えば、高西著「2足歩行ロボットのコントロール」（自動車技術会関東支部＜高塑＞No. 25, 1996 APRIL）を参照のこと）。

人間の作業空間や居住空間のほとんどは、2足による直立歩行という人間が持

つ身体メカニズムや行動様式に合わせて形成されている。言い換えれば、人間の住空間は、車輪その他の駆動装置を移動手段とした現状の機械システムが移動するのにはあまりに多くの障壁が存在する。機械システムすなわちロボットが様々な人的作業を支援又は代行し、さらに人間の住空間に深く浸透していくためには、ロボットの移動可能範囲が人間のそれとほぼ同じであることが好ましい。これが、脚式移動ロボットの実用化が大いに期待されている所以でもある。人間型の形態を有していることは、ロボットが人間の住環境との親和性を高める上で必須であると言える。

2足歩行による脚式移動を行うタイプのロボットに関する姿勢制御や安定歩行に関する技術は既に数多提案されている。ここで言う安定な「歩行」とは、「転倒することなく、脚を使って移動すること」と定義することができる。

ロボットの姿勢安定制御は、ロボットの転倒を回避する上で非常に重要である。何故ならば、転倒は、ロボットが実行中の作業を中断することを意味し、且つ、転倒状態から起き上がって作業を再開するために相当の労力や時間が払われるからである。また、何よりも、転倒によって、ロボット本体自体、あるいは転倒するロボットと衝突する相手側の物体にも、致命的な損傷を与えてしまう危険があるからである。したがって、脚式移動ロボットの設計・開発において、姿勢安定制御や歩行時の転倒防止は最も重要な課題の1つである。

歩行時には、重力と歩行運動に伴って生じる加速度によって、歩行系から路面には重力と慣性力、並びにこれらのモーメントが作用する。いわゆる「ダランベールの原理」によると、それらは路面から歩行系への反作用としての床反力、床反力モーメントとバランスする。力学的推論の帰結として、足底接地点と路面の形成する支持多角形の辺上あるいはその内側にピッチ及びロール軸モーメントがゼロとなる点、すなわち「ZMP (Zero Moment Point)」が存在する。

脚式移動ロボットの姿勢安定制御や歩行時の転倒防止に関する提案の多くは、このZMPを歩行の安定度判別の規範として用いている。ZMP規範に基づく2足歩行パターン生成は、足底着地点を予め設定でき、路面形状に応じた足先の運動学的拘束条件を考慮し易いなどの利点がある。また、ZMPを安定度判別規範とすることは、力ではなく軌道を運動制御上の目標値として扱うことを意味する

ので、技術的に実現可能性が高まる。なお、ZMPの概念並びにZMPを歩行ロボットの安定度判別規範に適用する点については、Miomir Vukobratovic著”LEGGED LOCOMOTION ROBOTS”（加藤一郎外著『歩行ロボットと人工の足』（日刊工業新聞社））に記載されている。

しかしながら、脚式移動ロボットは、研究段階からようやく実用化への第1歩を踏み出そうとしているのが現状であり、未だ数多の技術的課題が残されている。例えば、路面の表面状態、すなわち、整地か不整地か、あるいは摩擦係数など条件が脚式歩行に与える影響は非常に大きい、完全には解決されていない。

一般に、脚式ロボットは、予め計画された歩行動作を行う。例えば、特開昭62-97006号公報には、予め記憶された歩行パターン・データを用いることで、制御プログラムを簡素化するとともに、歩行パターンの各データ間を密につなぐことができる多関節歩行ロボット制御装置について開示されている。しかしながら、実際の歩行においては、摩擦係数など路面との関係、あるいは他に起因する要素、例えば、横風や外力、未知の障害物との干渉などによって、路面と足底の間で「滑り」などの相対移動が発生することがしばしばある。

4足歩行よりもヒューマノイドのような2足歩行のロボットの方が、重心位置が高く、且つ、歩行時のZMP安定領域が狭い。したがって、このような路面状態の変化に伴う姿勢変動の問題は、2足歩行ロボットにおいてとりわけ重要となる。

図1～図4には、脚式移動ロボット2000が2足歩行を行う様子を示している。各図に示すように、脚式移動ロボット2000は、通常、以下に示す各動作期間に分割される歩行周期を繰り返すことによって、2足歩行を実現することができる。

- (1) 右脚2001を持ち上げた、左脚2002による単脚支持期（図1参照。）
- (2) 右足2003が接地した両脚支持期（図2参照。）
- (3) 左脚2002を持ち上げた、右脚2001による単脚支持期（図3参照。）
- (4) 左足2004が接地した両脚支持期（図4参照。）



ロボットの歩行制御においては、あらかじめ下肢の目標軌道を計画し、上記の各期間において計画軌道の修正を行うようになっている。例えば、両脚支持期では、路面情報を用いた下肢軌道の修正を停止して、計画軌道に対する総修正量を用いて腰の高さを一定値で修正する。また、単脚支持期では、修正を受けた脚の足首と腰との相対位置関係を計画軌道に復帰させるように修正軌道を生成する。具体的な修正は、ZMPに対する偏差を小さくするための位置、速度、及び加速度が連続となるように5次多項式を用いた補間計算により行う（高西著「2足歩行ロボットのコントロール」（自動車技術会関東支部＜高塑＞No. 25, 1996 APRIL）を参照のこと）。

ここで、図1に示すような単脚支持期を例にとって、路面と足底が相対移動（滑り）を発生した場合について考察してみる。2足歩行のロボット2000においては、図示の唯一の立脚が路面に接地する単脚支持期では、軌道計画上、立脚が路面に対して相対移動（滑り）を起こさないことが特に期待されている。

図5には、左脚2002による単脚支持期に左足2004が路面に対し相対移動（滑り）を発生した様子を示している。図示の通り、ロボット2000の左足2004は、進行方向（ロール軸方向）に $\Delta X$ 、その直角方向（ピッチ軸方向）に $\Delta Y$ だけ相対移動している。すなわち、左足2004が完全に路面に接地する予定の状態であるため、ロボットが予定又は計画していた軌道と実際の軌道との間には、 $(\Delta X, \Delta Y)$ だけのずれが発生している。

単脚支持期では、修正を受けた脚の足首と腰との相対位置関係を計画軌道に復帰させるように修正軌道を生成する必要がある。ところが、加速度センサやカメラによる視覚認識など、ロボット上に標準的に搭載した検出システムを用いて、路面に対する相対移動（滑り）を正確な量まで測定することは、非常に困難である。このため、ロボットが軌道の補正を正確且つ迅速に行うことができず、予定していた軌道とのずれが相当程度に拡大するまでは相対移動の検出が見過ごされてしまうことになる。計画軌道と実際の軌道が相違する結果として、姿勢安定制御がうまくいかなかったり、回避できたはずの障害物と衝突してしまったりして、ロボットの転倒、ロボットや衝突物の損壊という悪い事態を招来しかねない。

また、図6には、左脚2002による単脚支持期において、左足2004が路

面に対し路面法線方向（ヨ一軸）まわりに回転するという相対移動（滑り）が発生した様子を示している。図示の通り、ロボット2000の左足2004は、路面法線に対して $\Delta\theta$ だけ回転している。すなわち、左足2004が完全に路面に接地する予定の状態であるため、ロボット2000が予定又は計画していた軌道と実際の軌道との間には、 $\Delta\theta$ だけの回転ずれが発生している。

このような回転ずれを、ジャイロ・センサやカメラによる視覚認識など、ロボット上に標準的に搭載した検出システムを用いて正確な量まで測定することは非常に難しい。また、このような路面法線まわりのずれは、ロボットの進行方向に影響するので、歩行作業を継続した結果大きな軌道のずれにつながりかねない。

一般的には、各足2003，2004に相対移動が発生する場合、図5に示すような路面平行面内の相対移動と図6に示すような路面法線まわりの相対移動とが合成して発生する場合が多いので、歩行への影響はますます大きくなる。

このため、2足式移動ロボットの脚部の軸力センサを用いて、路面からの反力を測定するなどして相対移動（滑り）の影響を除去するなどの対策を講じることがあるが、影響を完全に排除することは極めて困難である。

また、ロボット自身の姿勢をジャイロ・センサや加速度センサを用いて測定したり、あるいはカメラなどの視覚センサを利用して周囲の状況からロボット自身の姿勢を算出したりして、相対移動（滑り）の影響を測定したり、以降の軌道計画にフィードバックすることも想到される。しかしながら、いずれの対策によっても、測定の精度や応答速度などに課題を残すことが多い。また、多様な路面での歩行が要求されるロボットの場合には、相対移動（滑り）を全く許容しない歩行は現実的に不可能であり、また、移動速度などの面からも滑りをなくすというアプローチは不利である。

他方、脚式移動ロボットが歩行する際には足には必ず相対移動（滑り）が発生するものであるという立場に立つならば、相対移動を容認するとともに、滑りを定量化して解析・管理し、さらに積極的に滑り量を利用する歩行プロセスも考えられよう。

実際の人間が歩行する場合も、路面と足底の間で相対移動（滑り）が発生することはしばしばある。したがって、脚式移動ロボットにも多様な歩行パターンを

実現させるためには、相対移動（滑り）を軌道計画の中に積極的に取り入れて、さらに軌道修正を行っていく必要がある。そのためには、脚式作業中のロボットにおいて、各足部の路面に対する相対移動（滑り）を認識又は測定できることが重要である。

従来の脚式移動ロボットの足部に設けられていたセンサは、一般に、路面からの反力や、路面までの距離測定を行うものがほとんどである。言い換えれば、路面に平行な面方向の移動、あるいは、路面の法線まわりの移動など、路面に対する足部の相対移動（滑り）に相当する物理量を測定又は認識する測定機器は、ロボットに適用されていなかった。いわゆる足裏感覚を脚式移動ロボット上で実現するためには、路面に対する足部の相対移動（滑り）を検知し定量化することが重要であると思料する。

#### 発明の開示

本発明の目的は、様々な路面上を可動脚によって歩行その他の脚式移動作業を行うことができる脚式移動ロボットを提供することにある。

本発明の他の目的は、表面状態が不知の路面上を可動脚によって歩行その他の好適な脚式移動作業を行うことができる脚式移動ロボットを提供することにある。

本発明の更なる目的は、路面の表面状態に応じて適応的な脚式移動作業を行うことができる脚式移動ロボットを提供することにある。

本発明の更なる目的は、歩行などの脚式移動作業の最中に、路面と接地脚との間に相対移動（滑り）が起こり、この結果、予定又は計画された軌道と実際の起動との間にずれが発生した場合であっても、適応的に動作制御を行うことができる脚式移動ロボットを提供することにある。

本発明の更なる目的は、歩行などの脚式移動作業の最中に、路面に対する各足の相対移動（滑り）を認識又は測定して、計画軌道を修正するなど適応的な動作制御を行うことができる脚式移動ロボットを提供することにある。

上述した目的を達成するために提案される本発明は、少なくとも複数本の可動脚を備えた脚式移動ロボットであって、可動脚の足裏に配設された足部と路面と

の相対移動量を測定する相対移動測定センサと、この相対移動測定センサにより測定された足部と路面との相対移動量に基づいて脚式移動ロボットの動作を制御する制御部とを備える。

ここで、相対移動測定センサは、路面平行方向に対する足部の相対移動量及び／又は路面法線まわりの相対移動量を測定することができる。

かかる相対移動測定センサは、例えば、足裏から表面の一部が露出するとともに回転自在に取り付けられたボールと、このボールの第1方向の回転を検出する第1の回転部と、ボールの第2方向の回転を検出する第2の回転部と、第1及び第2の回転部の検出出力に基づいて足部の路面に対する第1及び第2の方向に対する相対移動量を演算する演算部とで構成することができる。

あるいは、足部の接地面を撮像する撮像手段と、撮像手段による所定時間毎の撮像画像どうしを比較する画像処理手段と、画像処理手段による画像比較結果に基づいて所定時間毎の足部の路面に対する相対移動量を算出する演算手段とで構成することができる。

相対移動測定センサが脚部の路面平行方向の相対移動量を測定可能であるような場合、所定の時間間隔で測定された足部の路面平行方向の相対移動量を時系列に従ってつなぎ合わせていくことで路面法線まわりの相対移動量を算出することができる。

あるいは、1つの足部に2以上の相対移動測定センサが離間して配設してもよい。このような場合、各相対移動測定センサの測定結果を比較することによって、該足部の路面法線まわりの相対移動量を算出することができる。各相対移動測定センサ自体は、路面法線まわりではなく路面平行方向のみ相対移動量を測定することができればよい。

制御部は、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して該路面上の移動を停止するようにしてもよい。

また、移動作業を停止させた後、さらに移動作業を継続可能か否かを判断するようにしてもよい。さらに、移動作業を継続不能と判断したときに所定の救援要求動作を実行するようにしてもよい。救援要求は、例えば、音声を発したり、無線通信を利用して近くのユーザを呼び出すことで実現される。あるいは、さらに

路面の状況を探査し、その探索結果に応じた行動を実行するようにしてもよい。

また、制御部は、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して、路面用の安全な移動動作パターンに移行するようにしてもよい。ここで言う安全な移動動作パターンとしては、例えば、足部が路面接地時の入射角を大きくとる、移動速度を低下させる、各可動脚による歩幅を小さくする、又はZMP軌道を修正するなどが挙げられる。

さらにまた、制御部は、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して、路面を探査しながらの移動動作に移行するようにしてもよい。あるいは、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して、路面に適した足底の選択処理を実行するようにしてもよい。

また、本発明は、少なくとも複数本の可動脚を備えた脚式移動ロボットの制御方法であって、各可動脚が接地しているときに足部と路面との相対移動量を測定する測定ステップと、測定された足部と路面との相対移動量に基づいて前記脚式移動ロボットの動作を制御する制御ステップとを具備する。

本発明において、測定ステップは、路面平行方向に対する足部の相対移動量及び／又は路面法線まわりの相対移動量を測定する。

また、測定部において足部の路面平行方向の相対移動量を測定する場合には、さらに、所定の時間間隔で測定された足部の路面平行方向の相対移動量を時系列に従ってつなぎ合わせていくことで路面法線まわりの相対移動量を算出する演算ステップを備えていてもよい。

あるいは、測定ステップでは、離間した2箇所以上で足部と路面との相対移動量を測定するようにしてもよい。このような場合、さらに、2箇所以上で測定された各相対移動量どうしを比較することによって足部の路面法線まわりの相対移動量を算出する演算ステップを備えていてもよい。

また、制御ステップでは、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して該路面上での移動作業を停止するようにしてもよい。

また、移動を停止した後に、さらに移動作業を継続可能か否かを判断するよう

にしてもよい。また、移動作業を継続不能と判断したときに、所定の救援要求動作を実行するようにしてもよい。救援要求は、例えば、音声を発したり、無線通信を利用して近くのユーザを呼び出すことで実現される。

さらに、制御ステップでは、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して路面上の移動を停止し、さらに路面の状況を探索するようにしてもよい。また、探索結果に応じた行動を実行するようにしてもよい。

さらにまた、制御ステップでは、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して、路面用の安全な移動動作パターンに移行するようにしてもよい。このような安全な移動動作パターンとしては、例えば、足部が路面接地時の入射角を大きくとる、移動速度を低下させる、各可動脚による歩幅を小さくする、又はZMP軌道を修正するなどが挙げられる。

さらにまた、制御ステップでは、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して、路面を探索しながらの移動動作に移行するようにしてもよい。あるいは、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して、路面に適した足底の選択処理を実行するようにしてもよい。

さらに、本発明は、少なくとも複数本の可動脚を備えた脚式移動ロボットの足部において適用可能な、足部と路面との相対移動量を測定する相対移動測定センサであって、表面の一部が露出するとともに回転自在に取り付けられたボールと、ボールの第1方向の回転を検出する第1の回転部と、ボールの第2方向の回転を検出する第2の回転部と、第1及び第2の回転部の検出出力に基づいて、足部の路面に対する第1及び第2の方向に対する相対移動量を演算する演算部とを具備する。

また、本発明は、少なくとも複数本の可動脚を備えた脚式移動ロボットの足部において適用可能な、足部と路面との相対移動量を測定する相対移動測定センサであって、足部の接地面を撮像する撮像手段と、撮像手段による所定時間毎の撮像画像どうしを比較する画像処理手段と、画像処理手段による画像比較結果に基づいて該所定時間毎の足部の路面に対する相対移動量を算出する演算手段とを具

備する。

本発明に係るロボットは、複数の可動脚を用いて歩行などの各種の脚式移動作業を行うことができる。例えば、2足歩行の場合には、左右の各脚部が、あらかじめ予定又は計画された下肢の軌道計画に従って、単脚支持及び両脚支持を繰り返すことによって実現される。また、両脚又は単脚の各支持期においては、路面情報や足首と腰との相対位置関係などに従って、適宜、計画軌道の修正、又は、計画軌道に復帰させるための修正軌道の生成が行われる。

ロボットの脚式作業中においては、立脚又は接地中の足部が路面に対して滑りなどの相対移動を起こすことがしばしばある。このような相対移動は、計画軌道と実際のロボットの軌道とのずれの原因となり、ロボットの転倒や障害物との衝突を招くおそれがある。したがって、各足部の路面に対する相対移動量をより正確に測定するとともに、相対移動量に基づいて計画軌道を修正するなど、ロボットの実行中の動作を適応的に制御する必要がある。

そこで、本発明に係る脚式移動ロボットは、各可動脚の足部（足平又は足底）には、足部と路面との接地状態を確認するための路面接地センサの他に、路面と接地脚との間の相対移動（滑り）を測定するための相対移動測定センサが配設されている。このため、予定又は計画された軌道と実際の起動との間にずれが発生した場合であっても、適応的に動作制御を行うことができる。

本発明のさらに他の目的、特徴や利点は、後述する本発明の実施例や添付する図面に基づくより詳細な説明によって明らかになるであろう。

#### 図面の簡単な説明

図1は、脚式移動ロボットが右脚を持ち上げた左脚による単脚支持期の状態を示した斜視図である。

図2は、脚式移動ロボットの右足が接地した両脚支持期の状態を示した斜視図である。

図3は、脚式移動ロボットが左脚を持ち上げた、右脚による単脚支持期の状態を示した斜視図である。

図4は、脚式移動ロボットの左足が接地した両脚支持期の状態を示した斜視図である。

図5は、脚式移動ロボットが左脚による単脚支持期に左足が路面に対し相対移動（滑り）を発生した様子を示した斜視図である。

図6は、脚式移動ロボットが左脚による単脚支持期に左足が路面に対し路面法線方向（ヨー軸）まわりに回転するという相対移動（滑り）を発生した様子を示した斜視図である。

図7は、本発明の実施に供される脚式移動ロボットを前方から眺望した様子を示した斜視図である。

図8は、本発明の実施に供される脚式移動ロボットを後方から眺望した様子を示した斜視図である。

図9は、本発明に係る脚式移動ロボットが具備する自由度構成モデルを模式的に示した図である。

図10は、本発明に係る脚式移動ロボットの制御システム構成を模式的に示した図である。

図11は、本発明に係る脚式移動ロボットの足部足裏の構成例を示した斜視図である。

図12は、足部の路面平行方向に対する相対移動量を測定可能な相対移動測定センサの構成例を示した斜視図である。

図13は、足部の路面平行方向に対する相対移動量を測定可能な相対移動測定センサの他の構成例を示したブロック図である。

図14は、画像処理演算部において微小時間間隔毎の撮像画像を比較演算する様子を示した図である。

図15は、足部の路面法線まわりの相対移動量を測定可能な相対移動測定センサの構成例を示す斜視図である。

図16は、各々の相対移動測定センサにおいて算出される足部における路面平行方向の微小時間間隔毎の相対移動量を示した図である。

図17は、微小時間間隔毎に測定した路面平行方向の相対移動量を時系列に従って連結して、路面法線まわりの相対移動量を求める様子を示した図である。



図 18 は、足部の路面に対する相対移動が路面法線まわりの成分を含まない場合の各相対移動測定センサにおける測定結果を模式的に示した図である。

図 19 は、足部の路面に対する相対移動が路面法線まわりの成分を含む場合の各相対移動測定センサにおける測定結果を模式的に示した図である。

図 20 A 乃至図 20 D は、脚式移動ロボットの歩行中に足部と路面との相対移動量の測定結果を以降の行動計画に反映させる形態を例示した図である。

図 21 は、路面接地時の足部の入射角が小さい場合の接地動作を描写した図である。

図 22 は、路面接地時の足部の入射角が大きい場合の接地動作を描写した図である。

図 23 は、足底に滑りが発生したときにリアルタイムで歩行パターンを修正するための処理手順を示したフローチャートである。

図 24 は、足底に滑りが発生したときの歩行パターンをオフラインで生成する処理手順を示したフローチャートである。

図 25 は、本発明に係る歩行制御の計算のために導入される、脚式移動ロボット 100 の線形且つ非干渉の多質点近似モデルを示した図である。

図 26 は、図 21 に示した脚式移動ロボットの多質点近似モデルにおける腰部周辺の拡大図である。

図 27 は、脚式移動ロボットの歩行パターンを生成するための処理手順を示したフローチャートである。

図 28 は、脚式移動ロボットの歩行パターンを生成する処理手順の他の例を示したフローチャートである。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照しながら本発明の実施例を詳解する。

図 7 及び図 8 は、本発明が適用された「人間形」又は「人間型」の脚式移動ロボット 100 が直立している様子を前方及び後方の各々から眺望した様子を示している。図示の通り、脚式移動ロボット 100 は、脚式移動を行う左右 2 足の下

肢 1 0 1 R, 1 0 1 L と、体幹部 1 0 2 と、左右の上肢 1 0 3 R, 1 0 3 L と、頭部 1 0 4 とで構成される。

左右各々の下肢 1 0 1 R, 1 0 1 L は、大腿部 1 0 5 R, 1 0 5 L と、膝関節 1 0 6 R, 1 0 6 L と、脛部 1 0 7 R, 1 0 7 L と、足首 1 0 8 R, 1 0 8 L と、足平 1 0 9 R, 1 0 9 L とで構成され、股関節 1 1 0 R, 1 1 0 L によって体幹部 1 0 2 の略最下端にて連結されている。また、左右各々の上肢 1 0 3 R, 1 0 3 L は、上腕 1 1 1 R, 1 1 1 L と、肘関節 1 1 2 R, 1 1 2 L と、前腕 1 1 3 R, 1 1 3 L とで構成され、肩関節 1 1 4 R, 1 1 4 L によって体幹部 1 0 2 上方の左右各側縁にて連結されている。また、頭部 1 0 4 は、首関節 1 5 5 によって体幹部 1 0 2 の略最上端中央に連結されている。

体幹部ユニット内には、図 7 及び図 8 では見えていない制御部が配備されている。この制御部は、脚式移動ロボット 1 0 0 を構成する各関節アクチュエータの駆動制御や後述する各センサなどからの外部入力进行处理する主制御部を構成するコントローラや、電源回路その他の周辺機器類を搭載した筐体である。制御部は、その他、遠隔操作作用の通信インターフェースや通信装置を含んでいてもよい。

図 9 には、本実施例に係る脚式移動ロボット 1 0 0 が具備する関節自由度構成を模式的に示している。図示の通り、脚式移動ロボット 1 0 0 は、2 本の腕部と頭部 1 を含む上体と、移動動作を実現する 2 本の脚部からなる下肢と、上肢と下肢とを連結する体幹部とで構成される。

頭部 1 を支持する首関節は、首関節ヨー軸 2 と、首関節ピッチ軸 3 と、首関節ロール軸 4 という 3 自由度を有している。

また、各腕部は、肩関節ピッチ軸 8 と、肩関節ロール軸 9 と、上腕ヨー軸 1 0 と、肘関節ピッチ軸 1 1 と、前腕ヨー軸 1 2 と、手首関節ピッチ軸 1 3 と、手首関節ロール軸 1 4 と、手部 1 5 とで構成される。手部 1 5 は、実際には、複数本の指を含む多関節・多自由度構造体である。但し、手部 1 5 の動作自体は、ロボット 1 0 0 の姿勢安定制御や歩行動作制御に対する寄与や影響が少ないので、本明細書ではゼロ自由度と仮定する。したがって、左右の各腕部は 7 自由度を有するとする。

また、体幹部は、体幹ピッチ軸 5 と、体幹ロール軸 6 と、体幹ヨー軸 7 という

3自由度を有する。

また、下肢を構成する左右各々の脚部は、股関節ヨー軸 16 と、股関節ピッチ軸 17 と、股関節ロール軸 18 と、膝関節ピッチ軸 19 と、足首関節ピッチ軸 20 と、関節ロール軸 21 と、足部（足底又は足平）22 とで構成される。股関節ピッチ軸 17 と股関節ロール軸 18 の交点は、本実施例に係るロボット 100 の股関節位置を定義するものとする。人体の足部（足底）22 は、実際には多関節・多自由度の足底を含んだ構造体であるが、本発明に係る脚式移動ロボット 100 の足底はゼロ自由度とする。したがって、左右の各脚部は 6 自由度で構成される。

以上を総括すれば、本実施例に係る脚式移動ロボット 100 全体としては、合計で  $3 + 7 \times 2 + 3 + 6 \times 2 = 32$  自由度を有することになる。但し、脚式移動ロボット 100 が必ずしも 32 自由度に限定される訳ではない。設計・製作上の制約条件や要求仕様等に応じて、自由度すなわち関節数を適宜増減することができることは言うまでもない。

脚式移動ロボット 100 が持つ上述の各関節自由度は、実際にはアクチュエータによる能動的な動作として実現される。装置の外観上で余分な膨らみを排してヒトの自然体形状に近似させることや、2足歩行という不安定構造体に対して姿勢制御を行うことなどの種々の要請から、関節アクチュエータは小型且つ軽量であることが好ましい。

本発明では、ギア直結型で且つサーボ制御系をワンチップ化してモータ・ユニットに内蔵したタイプの小型 AC サーボ・アクチュエータを搭載することとした。なお、脚式ロボットに適用可能な小型 AC サーボ・アクチュエータに関しては、例えば本出願人に既に譲渡されている特願平 11-33386 号明細書に開示されている。

図 10 には、本発明に係る脚式移動ロボット 100 の制御システム構成を模式的に示している。図 10 に示すように、制御システムは、ユーザ入力などに動的に反応して情緒判断や感情表現を司る思考制御モジュール 200 と、関節アクチュエータの駆動などロボット 100 の全身協調運動を制御する運動制御モジュール 300 とで構成される。

思考制御モジュール 200 は、情緒判断や感情表現に関する演算処理を実行する CPU (Central Processing Unit) 211 や、RAM (Random Access Memory) 212、ROM (Read Only Memory) 213 及びハード・ディスク・ドライブなどの外部記憶装置 214 で構成されたモジュール 200 内で自己完結処理を行うことができる独立した情報処理装置である。外部記憶装置 214 には、例えば、歩行パターンやその他のオフラインで計算された動作パターンをあらかじめ蓄積しておくことができる。

思考制御モジュール 200 には、頭部 201 に設けた CCD (Charge Coupled Device) カメラなどの画像入力装置 251 や、マイクなどの音声入力装置 252、スピーカなどの音声出力装置 253、LAN (Local Area Network: 図示しない) などを経由してロボット 100 外のシステムとデータ交換を行う通信インターフェース 254 など各種の装置が、バス・インターフェース 201 経由で接続されている。

思考制御モジュール 200 では、画像入力装置 251 から入力される画像又は視覚データや音声入力装置 252 から入力される音声又は聴覚データなど、外界からの刺激や環境の変化などに従って、脚式移動ロボット 100 の現在の感情や意思を決定する。さらに、思考制御モジュール 200 は、意思決定に基づいた振舞い又は行動、すなわち四肢 322R, 322L 及び 331R, 331L の運動を実行するように、運動制御モジュール 300 に対して指令を発行する。

一方の運動制御モジュール 300 は、ロボット 100 の全身協調運動を制御する CPU (Central Processing Unit) 311 や、RAM (Random Access Memory) 312、ROM (Read Only Memory) 313 及びハード・ディスク・ドライブなどの外部記憶装置 314 で構成されたモジュール 300 内で自己完結処理を行うことができる独立した情報処理装置である。外部記憶装置 314 には、例えば、四肢を用いた動作パターン又は歩容を蓄積することができる。なお、「歩容」とは、当業界において「関節角度の時系列変化」を意味する技術用語である。

運動制御モジュール 300 には、ロボット 100 の全身に分散するそれぞれの関節自由度を実現する関節アクチュエータ 321 (図 9 を参照のこと)、体幹部 202 の姿勢や傾斜を計測する姿勢センサ 351、左右の各足部に配設された路

面接地センサ 361, 361 並びに相対移動測定センサ 362, 362、バッテリーなどの電源を管理する電源制御装置などの各種の装置がバス・インターフェース 301 経由で接続されている。

ここで、路面接地センサ 361, 361 は、各足底の路面に対する離床及び着床の時期を検出するために配設される。各路面接地センサ 361, 361 の出力に基づいて、ロボット 100 の動作期間（両脚支持期か又は単脚支持期か）を特定することができる。また、相対移動測定センサ 362, 362 は、各足部の路面に対する相対移動量（滑り量）を検出・測定するために配設される。相対移動測定センサ 362, 362 の出力は、特に該当脚部 331R, 331L が単脚支持期のときに利用される。但し、これら路面接地センサ 361, 361 及び相対移動測定センサ 362, 362 の詳細については後述に譲る。

運動制御モジュール 300 では、思考制御モジュール 200 から指示された行動を体現すべく、各関節アクチュエータ 321, 321 及び 335, 335 による全身協調運動を制御する。すなわち、CPU 311 は、思考制御モジュール 200 から指示された行動に応じた動作パターンを外部記憶装置 314 から取り出し、又は内部的に動作パターンを生成する。そして、CPU 311 は、指定された動作パターンに従って、足部運動、ZMP (Zero Moment Point) 軌道、体幹運動、上肢運動、腰部水平位置及び高さなどを設定するとともに、これらの設定内容に従った動作を指示する指令値を各関節アクチュエータに転送する（「ZMP」とは、歩行中の床反力によるモーメントがゼロとなる床面上の点のことであり、また、「ZMP 軌道」とは、例えばロボット 100 の歩行動作期間中などに ZMP が動く軌跡を意味する）。

また、CPU 311 は、姿勢センサ 351 の出力信号によりロボット 100 の体幹部分の姿勢や傾きを検出するとともに、左右各足部の路面接地センサ 361, 361 の出力信号により各可動脚が遊脚又は立脚のいずれの状態であるかを検出することによって、脚式移動ロボット 100 の全身協調運動パターンを適応的に制御することができる。

さらに、本発明に係る脚式移動ロボット 100 においては、CPU 311 は、各足部の相対移動測定センサ 362, 362 によって検出・測定された滑り量に

基づいて、適応的に動作制御することができる。ここで言う適応的な動作制御の一例は、あらかじめ計画された目標軌道の動的な修正である。但し、足部の相対移動量の測定結果に基づいた動作制御の詳細については後述する。

思考制御モジュール200と運動制御モジュール300は、図10に示すように、共通のプラットフォーム上で構築され、両者間はバス・インターフェース201及び301を介して相互接続されている。運動制御モジュール300は、思考制御モジュール200において決定された意思通りの行動がどの程度体现されたか、すなわち処理の状況を、思考制御モジュール200に対して返すようになっている。

図11には、本発明に係る脚式移動ロボット100の足部足裏の構成例を示している。図11に示すように、足部1101は、足部の形状を維持する足部フレーム1102と、該当脚と電氣的及び機械的に接合するための脚部連結部1103と、足部の路面に対する相対移動量（滑り量）を検出・測定するための相対移動測定センサ1104と、各足底の路面に対する離床及び着床を検出するための路面接地センサ1105～1108と、各センサ1105～1108の検出信号を処理するためのセンサ入力処理演算部1109と、この処理演算結果をロボット100の中央制御系としての運動制御モジュール300に転送処理するためのセンサ情報通信処理部1110とで構成される。

図11に示す例では、1つの足底に4基の路面接地センサ1105～1108を配設したが、センサの個数は特に限定されない。足底の各部位毎に細かく接地確認したければ5基以上の接地センサを搭載してもよいし、逆に特定の部位の設置確認のみでよければ1基の接地センサのみで充分である。

同様に、相対移動測定センサの個数も特に限定されない。また、図11に示す例では、各センサの検出信号を同じ足底上のセンサ入力処理演算部1109において一旦演算処理してから処理結果を運動制御モジュール300に転送するようにしているが、演算処理を施す前の原検出信号をそのまま運動制御モジュール300側に送信してもよい。この場合は、センサ入力処理演算部1109は不要となる。

次いで、相対移動測定センサ1104による相対移動量（滑り量）の検出結果

の利用方法について説明する。

脚式移動ロボット100が歩行を始めとする脚式作業を行っている期間中、路面接地センサ1105～1108を用いて、センサ入力処理部1109は常に足部の各部位と路面との接地状態を監視している。さらに、路面接地センサ1105～1108の全部又は一部において接地が確認されている期間中には、相対移動測定センサ1104によって測定される移動量が広義の相対移動量として利用される。計画されている歩行の局面、接地状態などに応じて、相対移動センサ1104による測定結果の利用方法は変わってくる。

単純な例として、通常の歩行動作時における立脚側の接地状態について考察してみる。ここで、図5に示すように、立脚側の足部（図5では左足2004）が路面に対してロール軸及びピッチ軸方向にそれぞれ $\Delta X$ 及び $\Delta Y$ だけ相対移動（滑り）を起こしたとする。左脚は単脚支持を行っている期間なので、計画軌道に対して相対移動がまったく起こらないことが理想とされる。

図5に示す状態は、左足2004が完全に路面に接地する予定の状態であり、足部の設置状態は路面接地センサ1105～1108の検出信号を基に確認される。また、この状態での相対移動量 $\Delta X$ 及び $\Delta Y$ を、相対移動測定センサ1104が測定する。

路面接地センサ1105～1108並びに相対移動測定センサ1104の各検出信号は、センサ入力処理演算部1109に入力される。このセンサ入力処理演算部11090では、これらセンサ入力を演算することで、足部が接地したときに本来相対移動を起こすべきでない状態で相対移動が起こったことを解釈することができる。そして、センサ情報通信処理部1110は、かかる演算・解釈結果を運動制御モジュール300に転送する。

運動制御モジュール300側では、脚式移動ロボット100が計画軌道からロール軸及びピッチ軸各方向にそれぞれ $\Delta X$ 及び $\Delta Y$ だけ相対移動すなわち滑りを起こしたことを知ることができる。かかる検知結果を、以降の行動計画、軌道修正に反映させることができる。

また、図2に示すような、右足2003が接地した両脚支持期について考察してみる。いま左脚2002を降ろして接地させたとき、左足部2004の路面に

対する相対移動（滑り）が発生したとする。通常、ロボット（すなわち運動制御モジュール300）は、各関節の位置を把握しているので、足部に相対移動が生じて左右の脚同士の関係が軌道計画を逸脱していることを検知することができる。しかし、路面に対する相対移動を直接的に検出・測定できる装置なしでは、計画軌道に対する相対移動が左右どちらの足部に起因するのか、さらには相対移動量を定量的且つ正確に測定することはできない。本発明に係る構成によれば、足部に搭載された相対移動測定センサ1105によって、左右各々の足部における路面に対する相対移動（滑り）を観測することができ、また、路面に対するロボット位置の認識精度を大幅に向上させることができる。

次いで、相対移動測定センサ1104の具体的な構成について説明する。

図12には、本発明に係る脚式移動ロボット100に適用可能な相対移動測定センサ1104の構成例を示している。図12に示すセンサ1104は、ボール1301の回転量に基づいて相対移動を検出することができる。

足部の足底には、表面の一部が露出しているボール1301が回転自在に取り付けられている。足部が路面に充分接近すると、このボール1301の露出面は路面に接触することができる。

ボール1301は、回転自由度が与えられた状態で、センサ・ケース1302の内部に收容されている。ボール1301の表面には、ボール1301のX軸（ロール軸）方向の回転に連動するX軸回転ローラ1303と、ボール1301のY軸（ピッチ軸）方向の回転に連動するY軸回転ローラ1304と、各ローラ1303、1304に対して適度の圧力でボール1301を押し付けるためのローラ1305がバネ1306の復元力を利用して当接されている。さらに、X軸回転ローラ1303の根元には、ローラ1303の回転量を検出するX軸方向回転エンコーダ1307が直結されている。同様に、Y軸回転ローラ1304には、ローラ1304の回転量を検出するY軸方向回転エンコーダ1308が直結されている。

足部が接地している期間中に、路面に対して相対移動（滑り）を起こすと、相対移動量に応じた分だけボール1301がX軸及びY軸の各方向に回転する。ボール1301の回転のX軸方向成分及びY軸方向成分は、各回転ローラ1303



及び1304によって伝達され、X軸方向回転エンコーダ1307及びY軸方向回転エンコーダ1308によって各回転量が読み取られる。

図12中の参照番号1309で示されるモジュールはカウンタであり、各エンコーダ1307及び1308の出力を計数することができる。また、参照番号1310で示されるモジュールは演算処理部であり、エンコーダ出力を解釈して、X軸方向及びY軸方向の移動距離を算出することができる。このようにして得られた足部の移動距離データは、センサ入力処理演算部1109に供給され、センサ情報通信処理部1110を介して運動制御モジュール300に転送される。

また、図13には、相対移動測定センサ1104の他の構成例を示している。図12に示した相対移動測定センサ1104はボールの回転という機械的な動作によって相対移動を測定するが、図13に示す例では、相対移動量を光学的に読み取るように構成されている。

図13に示すように、この例の相対移動測定センサ1104は、照射光源としての発光部1401と、照射光を集光するためのレンズなどの光学部品からなる発光レンズ部1402と、路面Sからの反射光を集光するためのレンズなどの光学部品からなる撮像レンズ部1403と、反射光を撮像する撮像素子部1404と、撮像画像を処理する画像処理演算部1405と、画像処理結果に基づいて足部と路面との相対移動量を決定する相対移動量演算部1406と、決定された相対移動量（滑り量）をロボット100の中央制御系としての運動制御モジュール300に転送する通信処理部1407とで構成される。

図13に示す例では、撮像素子部1404による撮像画像を足部において画像処理して相対移動量を演算するようになっているが、撮像画像をそのまま運動制御モジュール300に転送するようにしてもよい。このような場合、画像処理演算部1405と相対移動量演算部1406とを、足部上から省略することができる。

発光部1401から発生される所定波長の照射光は、発光レンズ1402を介して、足部が接地された路面位置の近傍を照射する。この照明下での路面からの反射光は、撮像レンズ1403で集光されて撮像素子部1404の撮像面上で結像する。

撮像素子部 1 4 0 4 は、例えば C C D (Charge Coupled Device: 電荷結合素子) などで構成されており、路面からの反射光を受光して、路面上の微小な凹凸や模様などに応じた画像を得ることができる。あるいは、路面上に視認性の高い模様をあらかじめ形成しておいてもよい。

画像処理演算部 1 4 0 5 は、撮像素子部 1 4 0 4 から撮像画像を入力して、所定の微小時間間隔毎の撮像画像間を比較することで、画像の動きを算出する。例えば、図 1 4 に示すように、 $\Delta t$  秒間隔毎の撮像画像間で差分をとり、対応する凹凸又は模様間の移動量  $\Delta d_i$  を統計処理して画像の動きを算出することができる。

画像処理演算部 1 4 0 5 において得られた画像の動きデータは、後続の相対移動量演算部 1 4 0 6 に出力される。相対移動量演算部 1 4 0 6 は、画像の動きに基づいて、足部の路面に対する X 軸 (ロール軸) 方向並びに Y 軸 (ピッチ軸) 方向の各相対移動量 (滑り量)  $\Delta X$  及び  $\Delta Y$  を算出する。ここで算出された相対移動量は、通信処理部 1 4 0 7 によって運動制御モジュール 3 0 0 に転送される。

図 1 2 及び図 1 3 に示した相対移動測定センサ 1 1 0 4 は、いずれも足部の路面平行面に対する相対移動量、すなわち、X 軸 (ロール軸) 方向並びに Y 軸 (ピッチ軸) 方向の各相対移動量 (滑り量)  $\Delta X$  及び  $\Delta Y$  を算出するものであった。しかしながら、路面平行方向だけでなく、路面法線まわりの相対移動量も、脚式移動ロボット 1 0 0 の歩行制御や計画軌道の修正において非常に重要であることは既に述べた通りである。そこで、以下では、路面法線まわりの相対移動量 (滑り量) を測定することができる相対移動測定センサについて説明する。

従来、移動ロボットの路面法線まわりの運動は、ジャイロ・センサを用いて測定することが一般的であったが、測定精度やその他の点で問題が多かった。また、法線まわりの相対移動は歩行進行方向に重大な影響を及ぼすので、より正確な測定が望まれる。

図 1 5 には、足部の路面法線まわりの相対移動量すなわち回転運動を測定可能な相対移動測定センサを搭載した足部の構成例を図解している。

図示の通り、足部 1 5 0 1 は、足部の形状を維持する足部フレーム 1 5 0 2 と、該当脚と電氣的及び機械的に接合するための脚部連結部 1 5 0 3 と、足部の足底に所定間隔を隔てて配設された 2 基の相対移動測定センサ 1 5 0 4 - 1 及び 1 5

04-2と、各足底の路面に対する離床及び着床を検出するための路面接地センサ1505～1508と、各センサの検出信号を処理するためのセンサ入力処理演算部1509と、この処理演算結果をロボット100の中央制御系としての運動制御モジュール300に転送処理するためのセンサ情報通信処理部1510とで構成される。

4基の路面接地センサ1505～1508は、図11に示した例と略同一構成でよく、また、設置するセンサの個数や場所は特に限定されない。

また、相対移動測定センサ1504-及び1504-2の各々は、単一のセンサでは路面平行方向の相対移動量を測定することができればよく、例えば、図12や図13で示したような相対移動測定センサ1104をそのまま適用してもよい。

ここで、2基の相対移動測定センサ1504-及び1504-2を用いて足部の路面法線まわりの相対移動量（滑り量）を測定する仕組みについて説明する。

足部1501が路面に対して相対移動（滑り）を発生した場合、各々の相対移動測定センサ1504-1及び1504-2においては、路面平行方向の微小時間間隔毎に相対移動量が算出される。算出される相対移動量は、例えば図16に示す通りである。

図16に示すような微小時間間隔毎の相対移動量の測定を繰り返すとともに、測定結果を時系列に従ってつなぎ合わせていくことによって、図17に示すように、路面法線まわりの相対移動量を測定することができる。

図15に示したような足部1501の構成例では、2基の相対移動測定センサ1504-1及び1504-2が離間して配置されているので、2箇所において路面平行方向の相対移動量を同時に測定することができる。

足部1501の路面に対する相対移動が路面法線まわりの成分を含まない場合、各センサ1504-1及び1504-2の設置場所における相対移動は平行となり、図18に示すように、各相対移動測定センサ1504-1及び1504-2によって測定されるXY各方向の成分（図示の移動ベクトルA及びB）はまったく一致する。すなわち各センサからの検出出力は同じ値となる。

他方、足部1501の路面に対する相対移動が路面法線まわりの成分を含む場

合には、各相対移動測定センサ 1504-1 及び 1504-2 によって測定される X Y 各方向の成分は一致しない。

図 19 には、ある時間間隔において、足部 1501 が路面法線まわりに角度  $\theta$  だけ相対移動すなわち回転した様子を図解している。この場合、各相対移動測定センサ 1504-1 及び 1504-2 において測定された相対移動量で定義される各移動ベクトル A 及び B は平行とはならない。すなわち、これら移動ベクトル A 及び B 間のなす角に基づいて、足部の路面法線まわりの回転量  $\theta$  を算出することができる。

なお、図 15 に示す例では、2 基の相対移動測定センサを足部に搭載したが、3 基以上の相対移動測定センサを用いても同様に路面法線まわりの相対移動量  $\theta$  を測定可能であることは言うまでもない。また、多数の相対移動測定センサを利用することで、各センサ間の測定感度やその他のセンサの特性ばらつきや測定誤差を除去して、より正確な相対移動量測定を行うことができる。

また、図 15 に示した例のように路面平行方向の相対移動量を基にして路面法線まわりの回転量を算出する以外に、路面法線まわりの回転量を直接測定可能なセンサ装置を利用しても、本発明は同様の作用効果を奏することは言うまでもない。

上述したように、本発明に係る脚式移動ロボット 100 によれば、足部と路面との相対移動量を直接的且つ正確に測定することができる。このような測定結果に従って、ロボット 100 の脚式移動作業中における軌道計画外の状況発生をより高速に認知することができ、さらに、以降の行動計画に適応的且つ迅速に反映させることが可能となる。

例えば、足が滑った際には、ロボット 100 の腰又は体幹部に設置した姿勢センサよりも、足部に設置した相対移動測定センサのほうが応答が速いので、行動計画の修正に有利である。また、歩行中に滑り易い路面に突入した場合であっても、実際に姿勢が不安定な状態に陥る以前に滑りに起因する危険を予測することができる。

また、足部と路面との相対移動量を直接的に測定することで、ロボット 100 に搭載される他の計測システムの負担を軽減したり省略することが可能となる。

例えば、ジャイロ・センサへの要求精度が軽減されるし、カメラなどからの入力画像に対して高度な演算処理を行う必要がなくなる。

次いで、足部と路面との相対移動量の測定結果を、脚式移動ロボット100の以降の行動計画を反映させる点について説明する。

図20A乃至図20Dには、脚式移動ロボット100の歩行中に足部と路面との相対移動量の測定結果を以降の行動計画に反映させる4通りの形態を例示している。

このうち、図20A及び図20Bに示す例は、歩行動作を一旦停止させる点で共通する。

図20Aでは、運動制御モジュール300は、あらかじめ設定された閾値以上の滑りを検知すると、歩行動作を一旦停止するとともに、さらに極度の滑りを検知した旨を思考制御モジュール200に通知する。これに応答して、思考制御モジュール200は、人間らしい動作で危険事態を表出する。例えば、歩行不能と判断した場合には近くのユーザに助けを呼ぶようにする。例えば、音声を発したり、無線通信を利用して近くのユーザを呼び出すことで、救援要求が実現される。あるいは、ロボット100は、自律的に引き返したり後歩きを行ったりする。

また、図20Bでは、運動制御モジュール300は、あらかじめ設定された閾値以上の滑りを検知すると、歩行動作を一旦停止するとともに、路面状況探索行動ルーチンに移行する。

路面状況探索行動ルーチンは、特に限定されない。例えば、カメラなどの画像入力装置251による入力画像を処理して質感や模様などから路面の状況を判断してもよい。あるいは、脚、例えばつま先などを使って、路面上を掻き回すなどの操作を印加することで、路面状況を判断してもよい。あるいは、腕などの足部以外の部位を用いて、路面上を掻き回すなどの操作を印加することで、路面状況を判断してもよい。

そして、路面状況探索結果に基づいて適切な行動をとる。適切な行動の一例は、路面状況に適した歩行パターンを選択し、歩行を継続することである。なお、滑り路面専用の歩行パターンは、オフラインで計算してあらかじめ外部記憶装置314などに用意しておくか、又は、運動制御モジュール300上でリアルタイム

で生成するようにしてもよい。但し、歩行パターンの生成については後に詳解する。

また、適切な行動の他の例は、歩行不能と判断した場合に近くのユーザに助けを呼ぶなど、人間らしい動作で危険事態を表出することである。また、適切な行動の他の例は、元の安全な路面の場所に引き返すことである。このとき、後歩きを行ってもよいし、その場で方向転換してもよい。なお、方向転換時には、可能かどうかを判断してもよい。

また、図20Cに示す例では、歩行動作を一旦停止するか又は停止しないまま滑り路面用歩行パターンへ移行する。

滑り路面用歩行パターンは、安全な歩行パターンと、路面を探索しながらの歩行とに二分される。

前者の安全な歩行パターンの場合、例えば、路面接地時の入射角を大きくして足部401と路面Sの摩擦抵抗を増大させることができる。図21には路面接地時の足部401の入射角が小さい場合の接地動作を、また、図22には路面接地時の足部401の入射角が大きい場合の接地動作を、それぞれ進行方向の横側から描写している。

図21に示す場合には、接地脚402が路面に印加する力の水平成分が大きいので滑りが発生し易い。これに対し、図22に示す場合には、接地脚402が路面に印加する力の水平成分が小さくて済むので、同じ摩擦抵抗を持つ路面Sであっても滑りが発生しにくくなる。

また安全な歩行パターンの他の例として、速度を落としたり歩幅を小さくして滑りの発生を抑制したり、ZMP軌道を修正した歩行パターンが考えられる。但し、滑り路面用の安全な歩行パターンの生成については後に詳解する。

また、路面を探索しながらの歩行を行うときには、遊脚側接地と同時にいきなりロボット100の体重移動を行うことを避けて、路面探知行動を実行した後、路面状況に応じて体重移動を行うようにすればよい。

また、図20Dに示す例では、歩行動作を一旦停止するか、又は、停止しないまま、滑り路面に適した足底を選択する。

例えば、脚式移動ロボット100自身が滑り路面用の足底を搭載している、す

なわち携行している場合には、現場において、靴を履き替える間隔で足底を切り替えればよい。

また、脚式移動ロボット 100 が足底を携行していない場合には、滑り路面用並びに、他の各種路面用の足底を揃えた場所、例えば、ツール・マガジンまで足底を取りに戻ることができる。

あるいは、脚式移動ロボット 100 が足底を携行していない場合には、ユーザを呼んで足底の切り替えを要求するなど、人間らしい動作で危険事態を表出するようにしてもよい。

次いで、図 20B 及び図 20C において利用される滑り路面用歩行パターンの生成処理について説明する。一般に、歩行パターンは、オフラインであらかじめ計算するか又は歩行中にリアルタイムで歩行パターンを修正することができる。

まず、足底に滑りが発生したときにリアルタイムで歩行パターンを修正する場合について説明する。図 23 には、リアルタイムで歩行パターンを修正するための処理手順をフローチャートの形式で示している。以下、このフローチャートに従って説明する。

まず、設定歩行パターンを用いて歩行制御を行う（ステップ S11）。歩行パターンは、例えば、歩行周期  $K_i \times C$ （但し、 $K_i$  は倍率であり、デフォルトを 1.0 とする）と歩幅  $L$  [s / step] で規定される。

次いで、足部の足底に設置した相対移動測定センサ（前述）を用いて足底滑り量を測定して（ステップ S12）、該滑り量が許容値以上か否かをチェックする（ステップ S13）。

足底滑り量が許容値未満であれば、両脚支持期であればステップ S11 に、両足支持期でなければステップ S12 に復帰して（ステップ S19）、同じ設定歩行パターンを用いて歩行制御を継続する。

他方、足底滑り量が許容値以上になった場合には、歩行パターンの再生速度の選択処理を行う。

この場合、まず歩行周期の仮変更を行う（ステップ S14）。これは、倍率  $K_i$  の値を仮に増加する（例えば、 $K_i = K_i + 0.1$ ）ことによって実現される。この結果、歩行パターンの再生速度を変更することができる。

次いで、歩行パターン再生速度を変更したときのZMP軌道の算出を行う（ステップS15）。ZMP軌道すなわちZMP方程式の導出方法については、例えば、高西外著「未知の外力下における2足歩行～横方向の未知外力に対する歩行制御方式の開発～」（第9回日本ロボット学会学術講演会、321頁～324頁）に記載されている。

そして、算出されたZMP軌道を基に、ZMP安定度判別規範を満たしているか否かを判断する（ステップS16）。ZMP安定度判別規範を満たしていれば、変更した歩行パターン再生速度を選択する（ステップS17）。そして、この再生速度に従って歩行制御を実行するとともに（ステップS18）、ステップS12に戻って上述と同様の処理を繰り返す。

但し、歩行パターン再生速度の選択は、歩行周期の変更によってではなく、歩幅を変更することによっても同様に達成することができる。

他方、ZMP安定度判別規範を満たしていない場合には、歩行の継続を諦めて、ロボット100の姿勢がより安定する両足支持期に歩行を停止する（ステップS20）。

次いで、足底に滑りが発生したときの歩行パターンをオフラインであらかじめ生成する処理について説明する。図24には、歩行パターンをオフラインで生成する処理手順をフローチャートの形式で示している。以下、このフローチャートに従って説明する。

まず、変数nに初期値1を代入して（ステップS31）、n回目の歩行実験による足底滑りベクトルs(n)を取得する（ステップS32）。

次いで、この足底滑りベクトルs(n)を用いて、ロボット100の絶対座標系Oに対する運動座標系O'-X'Y'Z'の原点ベクトル $r_q(r_{qx}, r_{qy}, r_{qz}, r_{qroll}, r_{qpitch}, t)$ を修正する（ステップS33）。修正式は、下式(1)の通りとなる（但し、同式中のKはフィードバック・ゲイン）。

$$r_q(r_{qx}, r_{qy}, r_{qz}, r_{qraw}, r_{qroll}, r_{qpitch}, t) = r_q(r_{qx}, r_{qy}, r_{qz}, r_{qraw}, r_{qroll}, r_{qpitch}, t) + K \times s(n)(s_x, s_y, s_z, s_{raw}, s_{roll}, s_{pitch}, t)$$

・・・ (1)



次いで、修正した原点ベクトル  $r_i (r_{ix}, r_{iy}, r_{iz}, t)$  を用いて、全身運動パターンの再算出処理を実行する（ステップ S 3 4）。脚式移動ロボット 1 0 0 の全身運動パターンの算出処理については、後述に譲る。

次いで、機械モデル、相対移動測定センサ、そして、再算出された全身運動パターンを用いて  $(n+1)$  回目の歩行実験を行い、 $(n+1)$  回目の足底滑りベクトル  $s (n+1)$  を取得する（ステップ S 3 5）。

次いで、 $(n+1)$  回目の足底滑りベクトル  $s (n+1)$  が許容値以上か否かを判別する（ステップ S 3 6）。該ベクトルが許容値未満に収まっていれば、ステップ S 3 4 において求められた全身運動パターンを足底に滑りが発生したとき安定歩行可能なパターンとして出力する。

他方、足底滑りベクトル  $s (n+1)$  が許容値以上の場合には、 $n$  を 1 だけ増分して（ステップ S 3 7）、ステップ S 3 3 に復帰して、上記と同様の処理を繰り返し実行する。

最後に、図 2 4 におけるステップ S 3 4 において実行する全身運動パターンの算出処理について説明しておく。

本例では、全身運動パターン算出のために、図 7～図 9 に示す構造の脚式移動ロボット 1 0 0 を図 2 5（並びに、後述する式（2）及び式（4））に示すような線形且つ非干渉の多質点近似モデルに置き換えて計算することにした。

図 2 5 において、 $O-X Y Z$  座標系は絶対座標系におけるロール、ピッチ、ヨー各軸を表し、また、 $O'-X' Y' Z'$  座標系は脚式移動ロボット 1 0 0 とともに動く運動座標系におけるロール、ピッチ、ヨー各軸を表している。同図に示す多質点モデルでは、 $i$  は  $i$  番目に与えられた質点を表す添え字であり、 $m_i$  は  $i$  番目の質点の質量、 $r'_i$  は  $i$  番目の質点の位置ベクトル（但し運動座標系）を表すものとする。また、後述する全身協調運動パターン生成処理において特に重要な腰部質点の質量は  $m_h$ 、その位置ベクトルは  $r'_h (r'_{hx}, r'_{hy}, r'_{hz})$  とし、また、ZMP の位置ベクトルを  $r'_{mp}$  とする。同図に示す非厳密の多質点近似モデルにおいては、モーメント式は線形方程式の形式で記述され、該モーメント式はピッチ軸及びロール軸に関して干渉しない、という点を充分理解されたい。

このような多質点近似モデルは、概ね以下の処理手順により生成することがで

きる。すなわち、

- (1) ロボット 100 全体の質量分布を求める。
- (2) 質点を設定する。質点の設定方法は、設計者のマニュアル入力であっても、所定の規則に従った自動生成のいずれでも構わない。
- (3) 各領域  $i$  毎に、重心を求め、その重心位置と質量  $m_i$  を該当する質点に付与する。
- (4) 各質点  $m_i$  を、質点位置  $r_i$  を中心とし、その質量に比例した半径に持つ球体として表示する。
- (5) 現実に関連関係のある質点すなわち球体同士を連結する。

多質点モデルは、言わば、ワイヤフレーム・モデルの形態でロボットを表現したものである。本実施例では、図 21 を見ても判るように、この多質点近似モデルは、両肩 114 R, 114 L、両肘 112 R, 112 L、両手首 118 R, 118 L、体幹部 102、腰部 119 及び両足首 108 R, 108 L の各々を質点として設定したものである。なお、図 21 に示す多質点モデルの腰部情報における各回転角 ( $\theta_{11}$ ,  $\theta_{12}$ ,  $\theta_{13}$ ) は、脚式移動ロボット 100 における腰部の姿勢すなわちロール、ピッチ、ヨー軸の回転を規定するものである。なお図 26 には、多質点モデルの腰部周辺の拡大図を示している。

次いで、上記の多質点近似モデルを用いて脚式移動ロボット 100 の歩行パターンを生成するための処理手順について説明する。

図 27 には、脚式移動ロボット 100 歩行パターンを生成するための処理手順をフローチャートの形式で示している。但し、以下では、図 25 に示す線形・非干渉多質点近似モデルを用いてロボット 100 の各関節位置や動作を記述するものとし、且つ、計算に際して下式 (2) のようなパラメータを用いることとする。但し、ダッシュ (') 付きの記号は運動座標系を記述するものと理解されたい。

$m_h$ : 腰部質点の質量

$\vec{r}'_h(r'_{hx}, r'_{hy}, r'_{hz})$ : 腰部質点の位置ベクトル

$m_i$ :  $i$ 番目の質点の質量

$\vec{r}'_i$ :  $i$ 番目の質点の位置ベクトル

$\vec{r}'_{zmp}$ : ZMPの位置ベクトル

$\vec{g}(g_x, g_y, g_z)$ : 重力加速度ベクトル

$O'-X'Y'Z'$ : 運動座標系 (ロボットとともに動く)

$O-XYZ$ : 絶対座標系

$$H = \vec{r}'_{hz} + \vec{r}_{qz}$$

... (2)

また、ロボット100の腰部高さが一定 ( $r'_{hz} + r_{qz} = \text{const}$ ) で、且つ、膝部質点がゼロであることを前提とする。以下、図27に示すフローチャートに従って説明する。

まず、歩行実験において与えられる足部運動、足部運動から導出されたZMP目標軌道、体幹運動、上肢運動、腰部の姿勢や高さなど、各部の駆動・動作を実際に決定するためのパターンが設定される (ステップS41)。但し、腰部の運動に関しては、 $Z'$ 方向のみ設定し、 $X'$ 及び $Y'$ の各方向については未知とする。

次いで、線形・非干渉多質点近似モデルを用いて、足部、体幹、そして上肢運動により発生する設定ZMP上でのピッチ軸、ロール軸まわりの各モーメント ( $M_i$ ,  $M_r$ ) を算出する (ステップS42)。

次いで、線形・非干渉多質点近似モデルを用いて、腰部水平面内運動 ( $r'_{hx}$ ,  $r'_{hy}$ ) によって発生する設定ZMP上でのモーメントを算出する (ステップS43)。

次いで、設定ZMP上におけるモーメントに関する釣り合い式を、ロボットとともに動く運動座標系  $O'-X'Y'Z'$  上で導出する (ステップS44)。より具体的には、足部、体幹、そして上肢運動により発生するモーメント ( $M_i$ ,  $M_r$ ) を既知変数の項として右辺に、腰部質点の水平運動に関する項 ( $r'_{hx}$ ,  $r'_{hy}$ ) を未知変

数の項として左辺にまとめ、下式に示すような線形・非干渉なZMP方程式(3)を導出する。

$$\begin{aligned} & + m_h H (\ddot{r}_{hx} + \ddot{r}_{qx} + g_x) - m_h g_z (r'_{hx} - r'_{zmp_x}) = -M_y(t) \\ & - m_h H (\ddot{r}_{hy} + \ddot{r}_{qy} + g_y) + m_h g_z (r'_{hy} - r'_{zmp_y}) = -M_x(t) \end{aligned}$$

... (3)

但し、以下が成立するものとする。

$$\begin{aligned} \ddot{r}_{hz} &= 0 \\ r'_{hz} + r_{qz} &= \text{const} \quad (\text{時間に関し一定}) \end{aligned}$$

... (4)

次いで、上記のZMP方程式(3)を解いて、腰部水平面内軌道を算出する(ステップS45)。例えば、オイラー法やルンゲクッタ法などの数値的解法(周知)を用いてZMP方程式(3)を解くことで、未知変数としての腰部の水平絶対位置( $r_{hx}$ ,  $r_{hy}$ )の数値解を求めることができる(ステップS46)。ここで求められる数値解は、安定歩行可能な腰部運動パターンの近似解であり、より具体的にはZMPが目標位置に入るような腰部水平絶対位置である。ZMP目標位置は、通常、着床した足底に設定される。

算出された近似解上では予め設定した体幹・上肢運動が実現できない場合には、体幹・上肢運動パターンの再設定・修正を行う(ステップS47)。この際、膝部の軌道を算出してもよい。

次いで、上述のようにして得られた全身運動パターンを代入して、厳密モデル(すなわち、剛体、若しくは非常に多くの質点からなるロボット100の精密なモデル)における設定ZMP上のモーメント( $eM_i$ ,  $eM_j$ )を算出する(ステップS48)。非厳密モデルでは上記の式(4)が成立することを前提としたが、厳密ではかかる前提を要しない(すなわち時間の変化に対して一定である必要はない)。

厳密モデルにおけるモーメント( $eM_i$ ,  $eM_j$ )は、腰部運動の発生するモーメント誤差である。続くステップS49では、このモーメント( $eM_i$ ,  $eM_j$ )が非

厳密モデルにおける近似モーメントの許容値 ( $\varepsilon M_i$ ,  $\varepsilon M_j$ ) 未満か否かを判定する。許容値  $\varepsilon$  未満であれば、腰部安定運動パターンの厳密解及び安定歩行を実現できる (ステップ S 5 0)。本実施例のように片足が 6 自由度を持つ脚式ロボット (図 9 を参照のこと) の場合、各足部の位置と腰部の水平位置及び高さによって両脚の姿勢が一意に定まる。すなわち、腰部運動パターンを生成することはロボット 1 0 0 の「歩容」すなわち全身運動パターンを決定すること相当する。そこで、ステップ S 5 0 を以って本ルーチン全体を終了する。

他方、厳密モデルにおけるモーメント ( $e M_i$ ,  $e M_j$ ) が近似モデルにおけるモーメントの許容値 ( $\varepsilon M_i$ ,  $\varepsilon M_j$ ) 以上であった場合には、厳密モデルにおけるモーメント ( $e M_i$ ,  $e M_j$ ) を用いて近似モデルにおける既知発生モーメント ( $M_i$ ,  $M_j$ ) を修正して (ステップ S 5 1)、再び ZMP 方程式の導出を行い、許容値  $\varepsilon$  未満に収束するまで、腰部運動パターンの近似解の算出と修正を繰り返し実行する。

また、図 2 8 には、脚式移動ロボット 1 0 0 全身運動パターンを生成する処理手順の他の例をフローチャートの形式で示している。但し、図 2 7 に示した例と同様に、線形・非干渉多質点近似モデルを用いてロボット 1 0 0 の各関節位置や動作を記述するものとする。

まず、歩行実験において与えられる足部運動、足部運動から導出された ZMP 目標軌道、体幹運動、上肢運動、腰部の姿勢や高さなど、各部の駆動・動作を実際に決定するためのパターンが設定される (ステップ S 6 1)。但し、腰部の運動に関しては、Z' 方向のみ設定し、X' 及び Y' の各方向については未知とする。

次いで、線形・非干渉多質点近似モデルを用いて、足部、体幹、そして上肢運動により発生する設定 ZMP 上でのピッチ軸、ロール軸まわりの各モーメント ( $M_i$ ,  $M_j$ ) を算出する (ステップ S 6 2)。

次いで、腰部水平面内運動 ( $r'_{u1}$ ,  $r'_{u2}$ ) をフーリエ級数展開する (ステップ S 6 3)。当業界において既に周知のように、フーリエ級数展開することにより、時間軸成分を周波数成分に置き換えて演算することができる。すなわち、この場合には腰部の動きを周期的な動きとして捉えることができる。また、FFT (高速フーリエ変換) を適用することができるので、計算速度を大幅に向上させるこ

とができる。

次いで、設定ZMP上でのピッチ軸、ロール軸まわりの各モーメント ( $M_i$ ,  $M_j$ ) についてもフーリエ級数展開する (ステップS64)。

次いで、腰部水平面内軌道のフーリエ係数を算出し、さらに逆フーリエ級数展開することで (ステップS65)、腰部運動の近似解が求まる (ステップS66)。ここで求められる近似解は、安定歩行可能な腰部運動パターンを規定する腰部の水平絶対位置の近似解 ( $r_{u1}$ ,  $r_{u2}$ ) であり、より具体的にはZMPが目標位置に入るような腰部水平絶対位置である。ZMP目標位置は、通常、着床した足底に設定される。

算出された近似解上では予め設定した体幹・上肢運動が実現できない場合には、体幹・上肢運動パターンの再設定・修正を行う (ステップS67)。この際、膝部の軌道を算出してもよい。

次いで、上述のようにして得られた全身運動パターンを代入して、厳密モデル、すなわち、剛体、若しくは非常に多くの質点からなるロボット100の精密なモデルにおける設定ZMP上のモーメント ( $eM_i$ ,  $eM_j$ ) を算出する (ステップS68)。非厳密モデルでは上記の式(4)が成立することを前提としたが、厳密ではかかる前提を要しない。すなわち、時間の変化に対して一定である必要はない。

厳密モデルにおけるモーメント ( $eM_i$ ,  $eM_j$ ) は、腰部運動の発生するモーメント誤差である。続くステップS69では、このモーメント ( $eM_i$ ,  $eM_j$ ) が近似モデルにおけるモーメントの許容値 ( $\varepsilon M_i$ ,  $\varepsilon M_j$ ) 未満か否かを判定する。許容値 $\varepsilon$ 未満であれば、腰部安定運動パターンの厳密解及び安定歩行を実現できる全身運動パターンを得ることができたことになるので (ステップS70)、本ルーチン全体を終了する。

他方、厳密モデルにおけるモーメント ( $eM_i$ ,  $eM_j$ ) が近似モデルにおけるモーメントの許容値 ( $\varepsilon M_i$ ,  $\varepsilon M_j$ ) 以上であった場合には、厳密モデルにおけるモーメント ( $eM_i$ ,  $eM_j$ ) を用いて非厳密モデルにおける既知発生モーメント ( $M_i$ ,  $M_j$ ) を修正して (ステップS71)、再びフーリエ級数展開して、許容値 $\varepsilon$ 未満に収束するまで、腰部運動パターンの近似解の算出と修正を繰り返し実行する。

以上、いくつかの実施例を参照しながら、本発明について詳解してきた。本発明は、本発明の要旨を逸脱しない範囲で当業者が適宜修正や代用を成し得ることは自明である。

上述の説明では、2足歩行を行うヒューマノイド・ロボットに適用した例を挙げて説明したが、本発明の適用範囲は、2足歩行ロボットに限定されない。例えば、4足歩行のペット型ロボットやその他の脚式ロボット、さらには脚式以外の移動ロボットに対して本発明を適用しても同様の作用効果を奏することは言うまでもない。

上述の説明は、具体的に実施される形態で本発明を開示してきたのであり、限定的に解釈されるべきではない。本発明の要旨を判断するためには、特許請求の範囲の欄を参酌すべきである。

#### 産業上の利用可能性

上述したように、本発明は、複数本の可動脚を備えた脚式移動ロボットであって、可動脚の足裏に配設された足部と路面との相対移動量を相対移動測定センサに測定し、相対移動測定センサにより測定された足部と路面との相対移動量に基づいて脚式移動ロボットの動作を制御するようにしているので、様々な路面上を可動脚によって歩行その他の脚式移動作業を行うことができる優れた脚式移動ロボットを提供することができる。

## 請求の範囲

1. 少なくとも複数本の可動脚を備えた脚式移動ロボットであって、

前記可動脚の足裏に配設された、足部と路面との相対移動量を測定する相対移動測定センサと、

前記相対移動測定センサにより測定された足部と路面との相対移動量に基づいて前記脚式移動ロボットの動作を制御する制御部とを具備することを特徴とする脚式移動ロボット。

2. 前記相対移動測定センサは、路面平行方向に対する足部の相対移動量及び／又は路面法線まわりの相対移動量を測定することを特徴とする請求の範囲第1項記載の脚式移動ロボット。

3. 前記相対移動測定センサは、足裏から表面の一部が露出するとともに回転自在に取り付けられたボールと、該ボールの第1方向の回転を検出する第1の回転部と、該ボールの第2方向の回転を検出する第2の回転部と、前記第1及び第2の回転部の検出出力に基づいて、足部の路面に対する第1及び第2の方向に対する相対移動量を演算する演算部とを備えることを特徴とする請求の範囲第1項記載の脚式移動ロボット。

4. 前記相対移動測定センサは、足部の接地面を撮像する撮像手段と、前記撮像手段による所定時間毎の撮像画像どうしを比較する画像処理手段と、前記画像処理手段による画像比較結果に基づいて該所定時間毎の足部の路面に対する相対移動量を算出する演算手段とを備えることを特徴とする請求の範囲第1項記載の脚式移動ロボット。

5. 前記相対移動測定センサは、足部の路面平行方向の相対移動量を測定可能であり、所定の時間間隔で測定された足部の路面平行方向の相対移動量を時系列に従ってつなぎ合わせていくことで路面法線まわりの相対移動量を算出することを特徴とする請求の範囲第1項記載の脚式移動ロボット。

6. 1つの足部には2以上の相対移動測定センサが離間して配設され、各相対移動測定センサの測定結果どうしを比較することによって、該足部の路面法線まわりの相対移動量を算出することを特徴とする請求の範囲第1項記載の脚式移動ロ



ボット。

7. 前記制御部は、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して該路面上の移動を停止することを特徴とする請求の範囲第1項記載の脚式移動ロボット。

8. 前記制御部は、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して該路面上の移動を停止し、さらに移動作業を継続可能か否かを判断することを特徴とする請求の範囲第1項記載の脚式移動ロボット。

9. 前記制御部は、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して該路面上の移動を停止し、さらに移動作業を継続可能か否かを判断し、移動作業を継続不能と判断したときに所定の救援要求動作を実行することを特徴とする請求の範囲第1項記載の脚式移動ロボット。

10. 前記制御部は、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して該路面上の移動を停止し、さらに該路面の状況を探査することを特徴とする請求の範囲第1項記載の脚式移動ロボット。

11. 前記制御部は、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して該路面上の移動を停止し、さらに該路面の状況を探査し、該探索結果に応じた行動を実行することを特徴とする請求の範囲第1項記載の脚式移動ロボット。

12. 前記制御部は、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して、該路面用の安全な移動動作パターンに移行することを特徴とする請求の範囲第1項記載の脚式移動ロボット。

13. 前記安全な移動動作パターンは、足部が路面接地時の入射角を大きくとるか、移動速度を低下させるか、各可動脚による歩幅を小さくするか、又はZMP軌道を修正するかのうち少なくとも1つであることを特徴とする請求の範囲第12項記載の脚式移動ロボット。

14. 前記制御部は、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して、該路面を探査しながらの移動動作に移行することを特徴とする請求の範囲第1項記載の脚式移動ロボット。

15. 前記制御部は、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値

を越えたことに応答して、該路面に適した足底の選択処理を実行することを特徴とする請求の範囲第1項記載の脚式移動ロボット。

16. 少なくとも複数本の可動脚を備えた脚式移動ロボットの制御方法であって、各可動脚が接地しているときに足部と路面との相対移動量を測定する測定ステップと、

測定された足部と路面との相対移動量に基づいて前記脚式移動ロボットの動作を制御する制御ステップと、

を具備することを特徴とする脚式移動ロボットの制御方法。

17. 前記測定ステップでは、路面平行方向に対する足部の相対移動量及び／又は路面法線まわりの相対移動量を測定することを特徴とする請求の範囲第16項記載の脚式移動ロボットの制御方法。

18. さらに、前記測定ステップにおいて所定の時間間隔で測定された足部の路面平行方向の相対移動量を時系列に従ってつなぎ合わせていくことで路面法線まわりの相対移動量を算出する演算ステップを具備することを特徴とする請求の範囲第16項記載の脚式移動ロボットの制御方法。

19. 前記測定ステップでは、離間した2箇所以上で足部と路面との相対移動量を測定し、さらに、2箇所以上で測定された各相対移動量どうしを比較することによって該足部の路面法線まわりの相対移動量を算出する演算ステップを具備することを特徴とする請求の範囲第16項記載の脚式移動ロボットの制御方法。

20. 前記制御ステップでは、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して該路面上の移動を停止することを特徴とする請求の範囲第16項記載の脚式移動ロボットの制御方法。

21. 前記制御ステップでは、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して該路面上の移動を停止し、さらに移動作業を継続可能か否かを判断することを特徴とする請求の範囲第16項記載の脚式移動ロボットの制御方法。

22. 前記制御ステップでは、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して該路面上の移動を停止し、さらに移動作業を継続可能か否かを判断し、移動作業を継続不能と判断したときに所定の救援要求動

作を実行することを特徴とする請求の範囲第 1 6 項記載の脚式移動ロボットの制御方法。

23. 前記制御ステップでは、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して該路面上の移動を停止し、さらに該路面の状況を探査することを特徴とする請求の範囲第 1 6 項記載の脚式移動ロボットの制御方法。

24. 前記制御ステップでは、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して該路面上の移動を停止し、さらに該路面の状況を探査し、該探索結果に応じた行動を実行することを特徴とする請求の範囲第 1 6 項記載の脚式移動ロボットの制御方法。

25. 前記制御ステップでは、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して、該路面用の安全な移動動作パターンに移行することを特徴とする請求の範囲第 1 6 項記載の脚式移動ロボットの制御方法。

26. 前記安全な移動動作パターンは、足部が路面接地時の入射角を大きくとるか、移動速度を低下させるか、各可動脚による歩幅を小さくするか又は ZMP 軌道を修正するかのうち少なくとも 1 つであることを特徴とする請求の範囲第 2 5 項記載の脚式移動ロボットの制御方法。

27. 前記制御ステップでは、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して該路面を探査しながらの移動動作に移行することを特徴とする請求の範囲第 1 6 項記載の脚式移動ロボットの制御方法。

28. 前記制御ステップでは、路面上を移動中に足部と路面との相対移動量が所定の閾値を越えたことに応答して該路面に適した足底の選択処理を実行することを特徴とする請求の範囲第 1 6 項記載の脚式移動ロボットの制御方法。

29. 少なくとも複数本の可動脚を備えた脚式移動ロボットの足部において適用可能な、足部と路面との相対移動量を測定する相対移動測定センサであって、

表面の一部が露出するとともに回転自在に取り付けられたボールと、

該ボールの第 1 方向の回転を検出する第 1 の回転部と、

該ボールの第 2 方向の回転を検出する第 2 の回転部と、

前記第 1 及び第 2 の回転部の検出出力に基づいて、足部の路面に対する第 1 及

び第2の方向に対する相対移動量を演算する演算部と

を具備することを特徴とする脚式移動ロボット用相対移動測定センサ。

30. 少なくとも複数本の可動脚を備えた脚式移動ロボットの足部において適用可能な、足部と路面との相対移動量を測定する相対移動測定センサであって、

足部の接地面を撮像する撮像手段と、

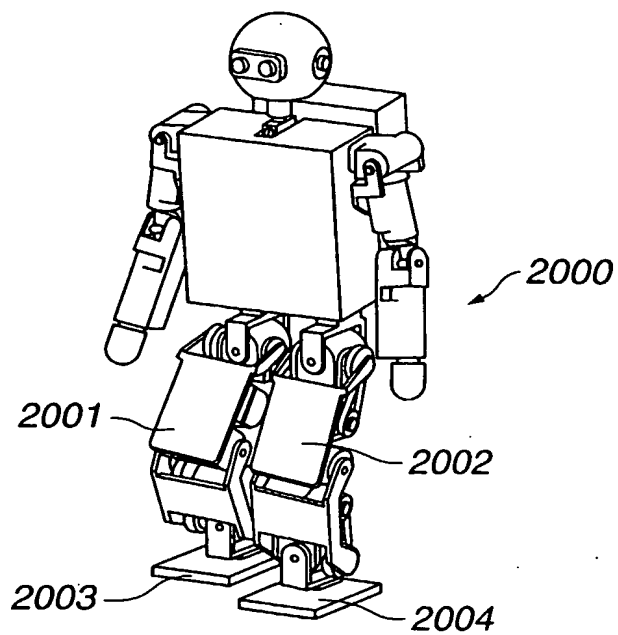
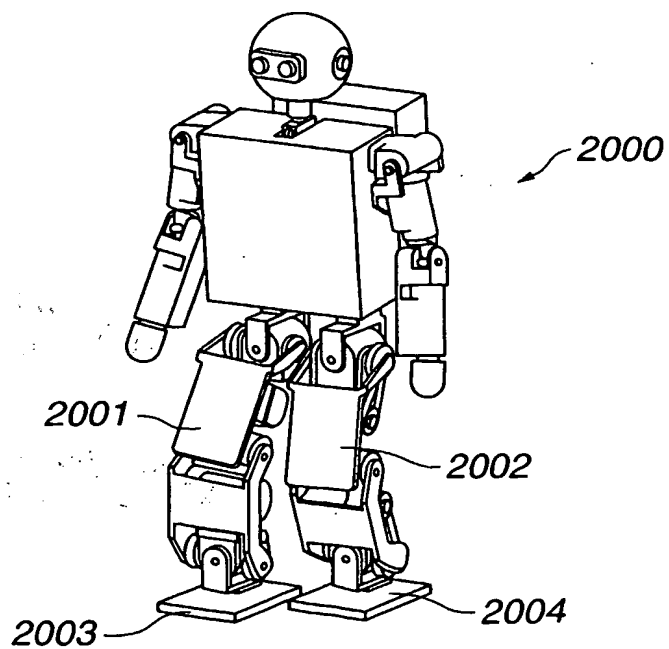
前記撮像手段による所定時間毎の撮像画像どうしを比較する画像処理手段と、

前記画像処理手段による画像比較結果に基づいて該所定時間毎の足部の路面に対する相対移動量を算出する演算手段と

を具備することを特徴とする脚式移動ロボット用相対移動測定センサ。

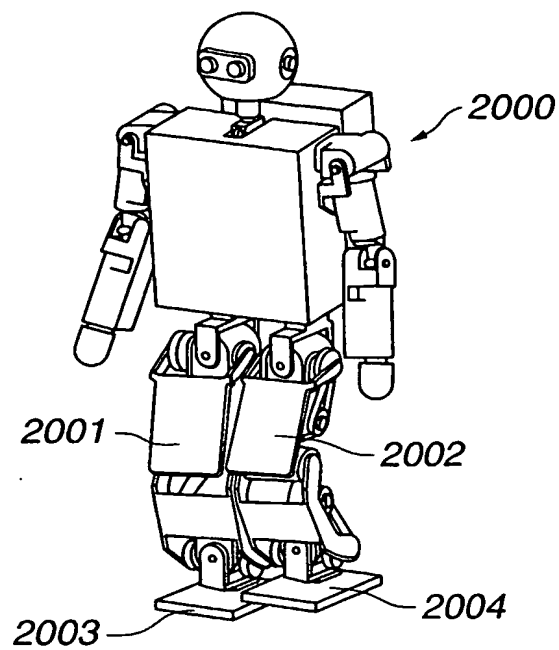
This Page Intentionally Left Blank

1/22

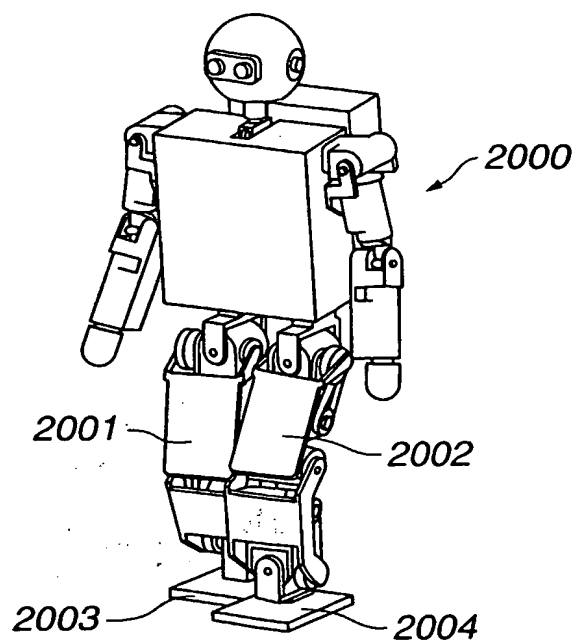
**FIG.1****FIG.2**

**This Page Blank (uspto)**

2/22



**FIG. 3**



**FIG. 4**

This Page blank (uspto)



3/22

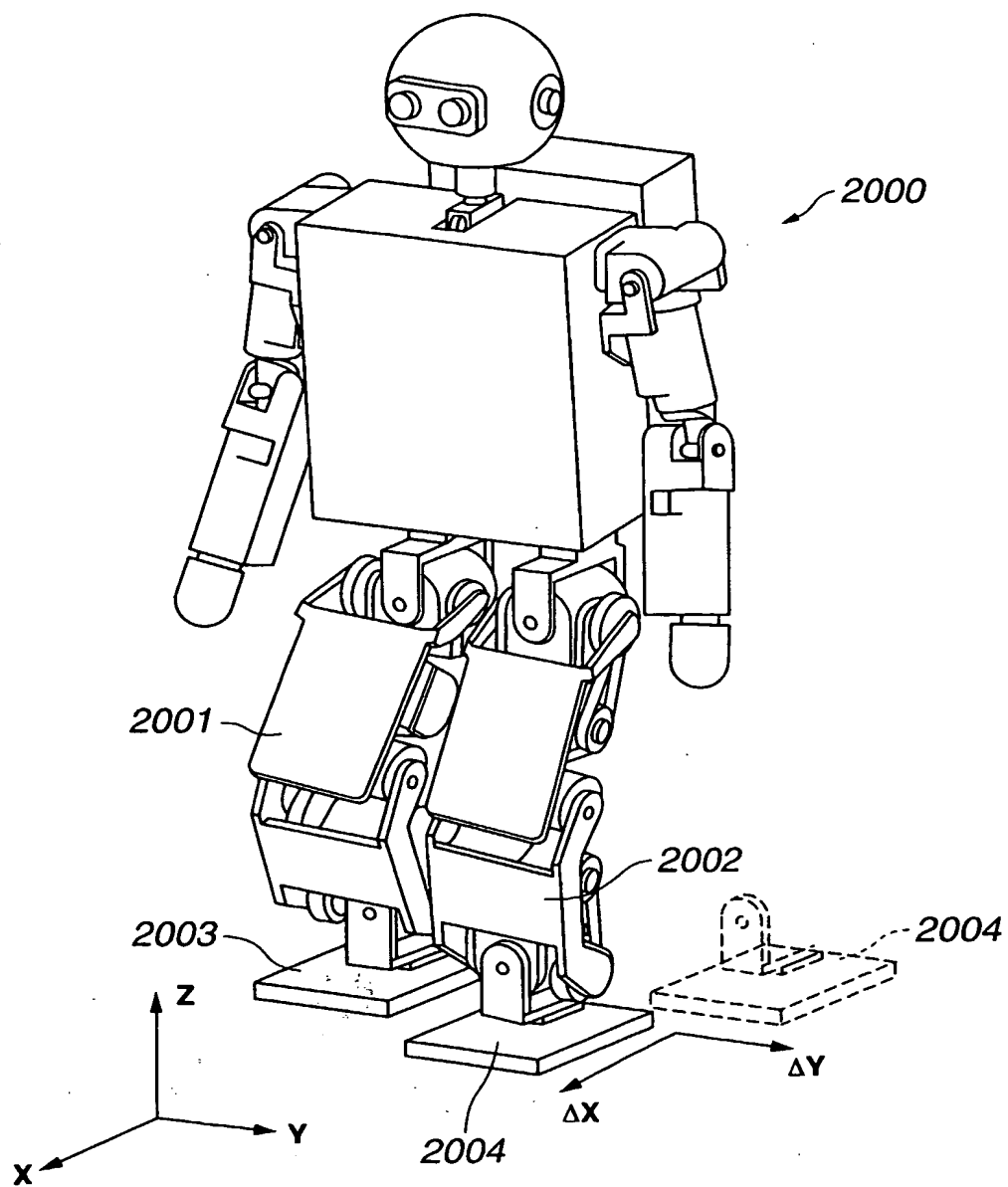
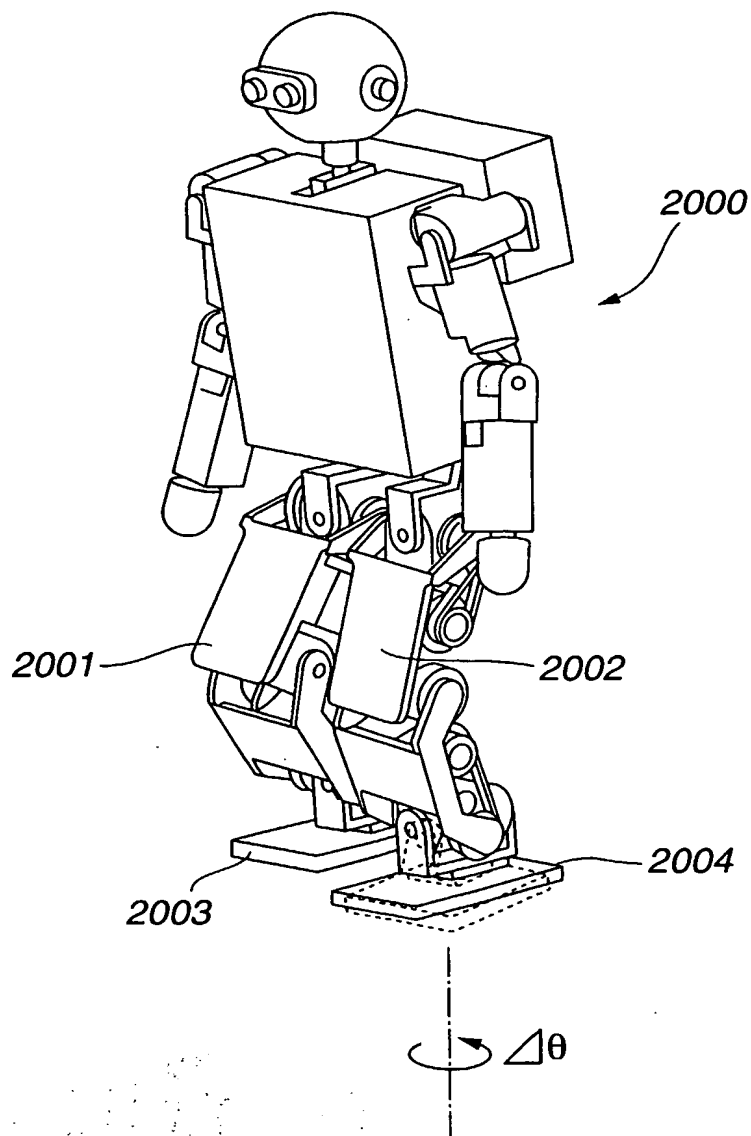


FIG. 5

**This Page Blank (uspto)**

4/22

**FIG.6**

**This Page Blank (uspto)**

5/22

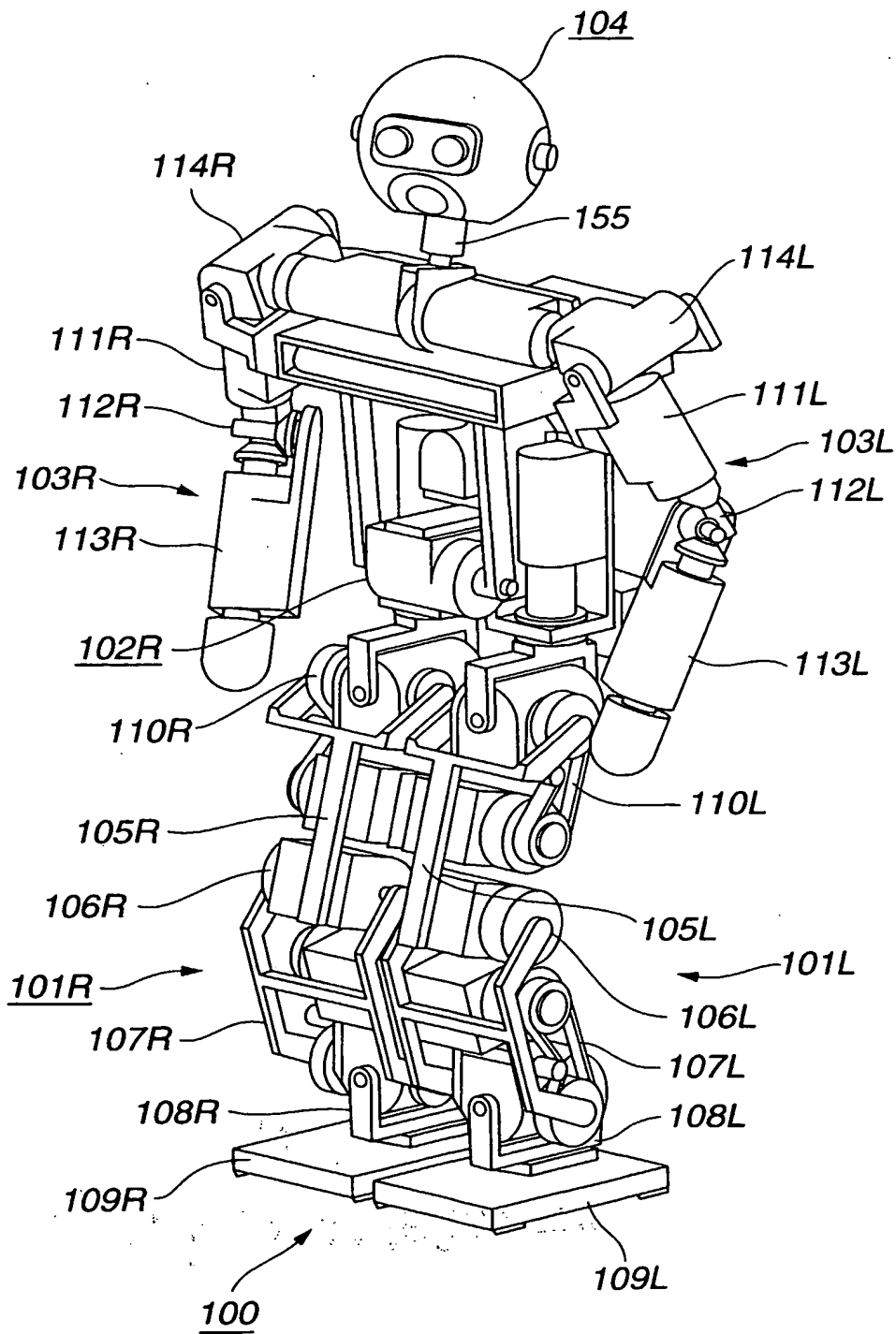
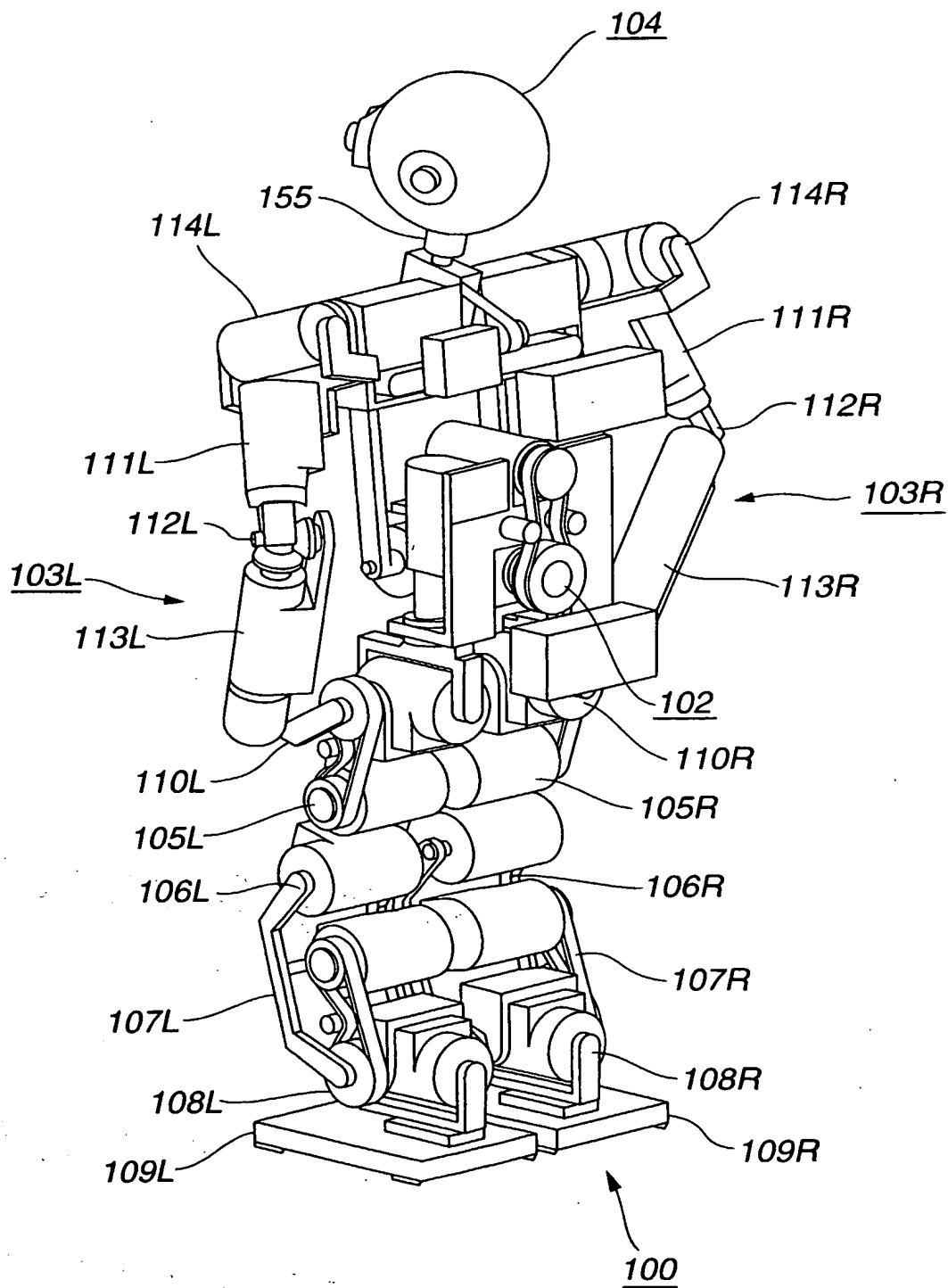


FIG. 7

**This Page Blank (uspto)**

**This Page Blank (uspto)**

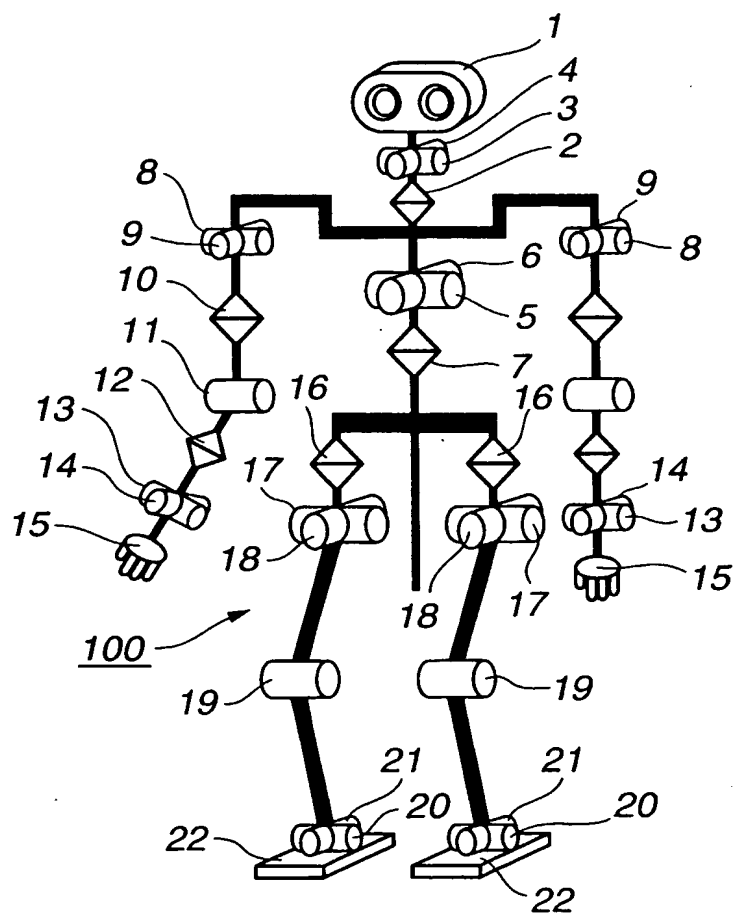
6/22

**FIG.8**

**This Page Blank (uspto)**



7/22

**FIG.9**

**This Page Blank (uspto)**

8/22

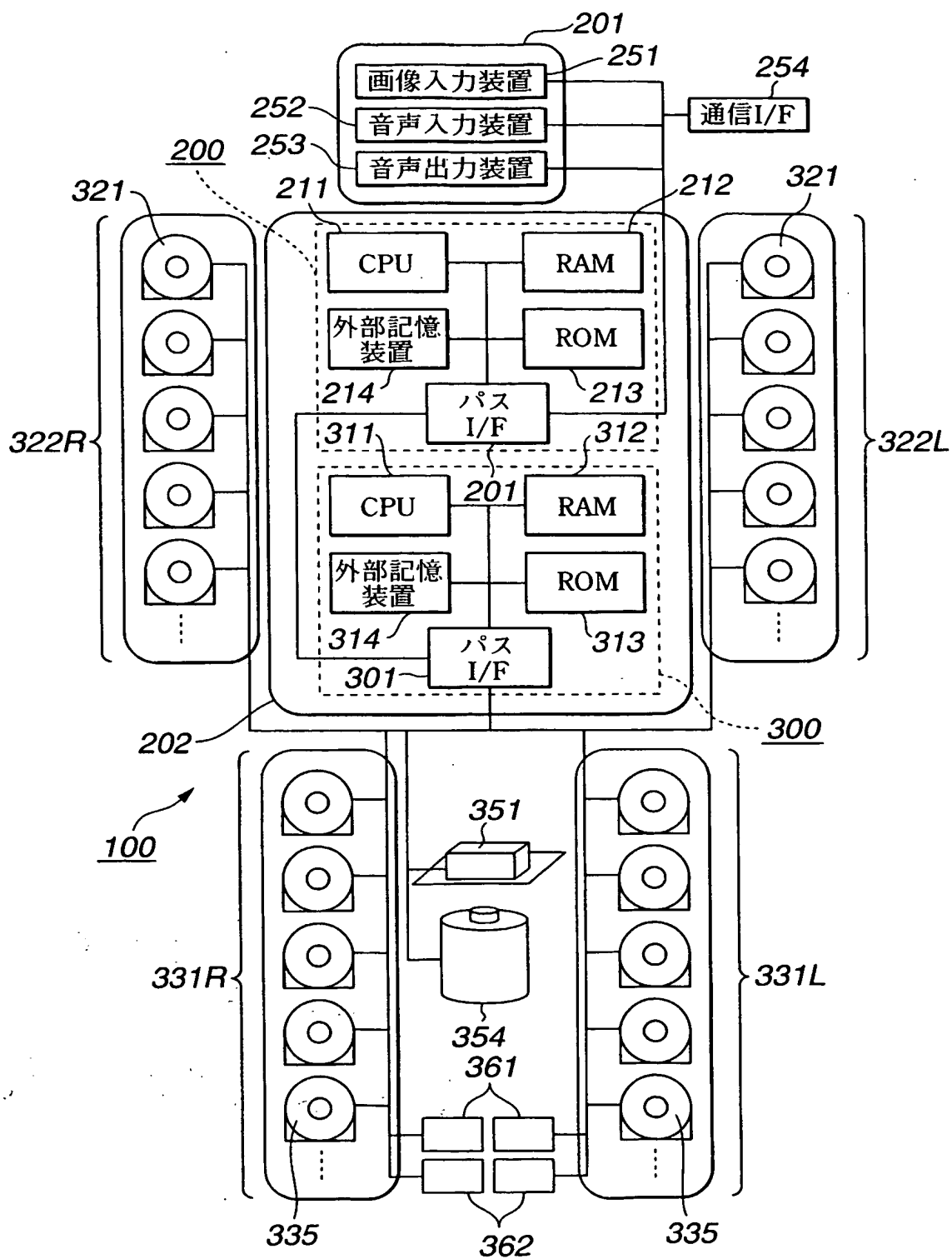
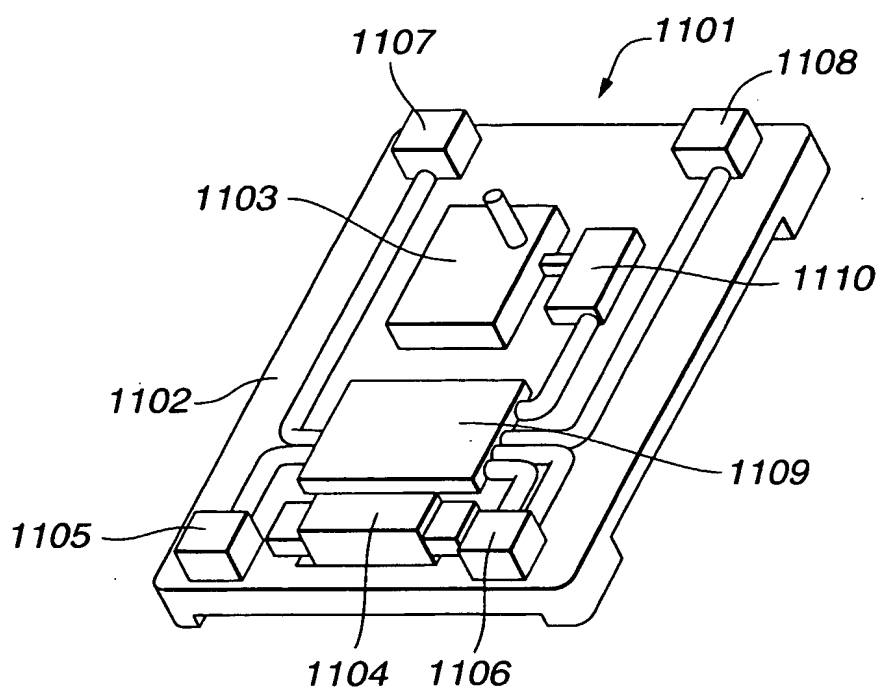


FIG.10



**This Page Blank (uspto)**

9/22

**FIG.11**

**This Page Blank (uspto)**

10/22

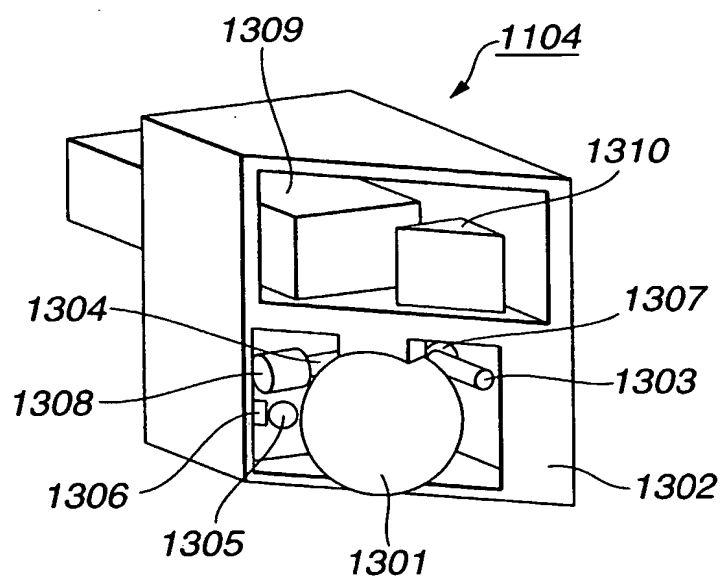


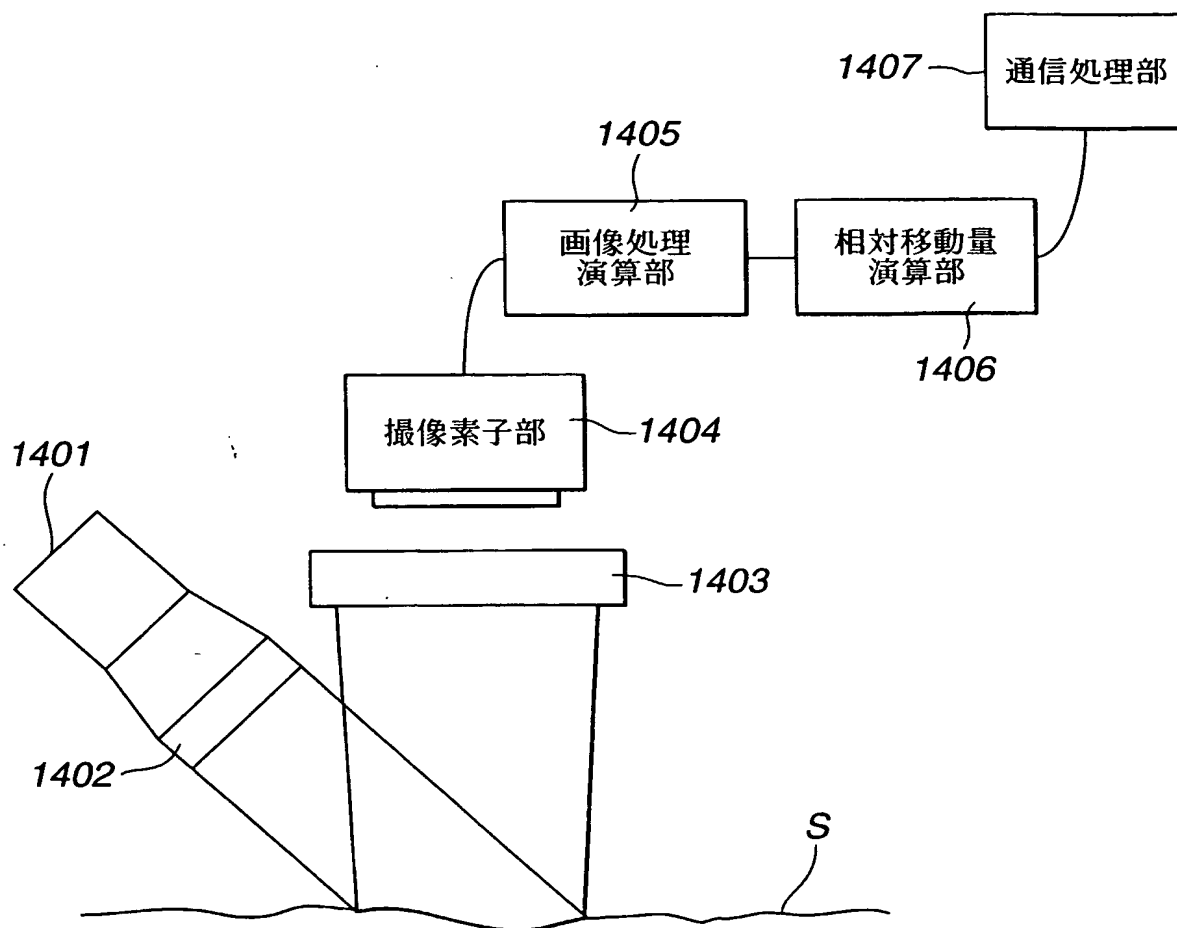
FIG.12



**This Page Blank (uspto)**



11/22

**FIG.13**

**This Page Blank (uspto)**

12/22

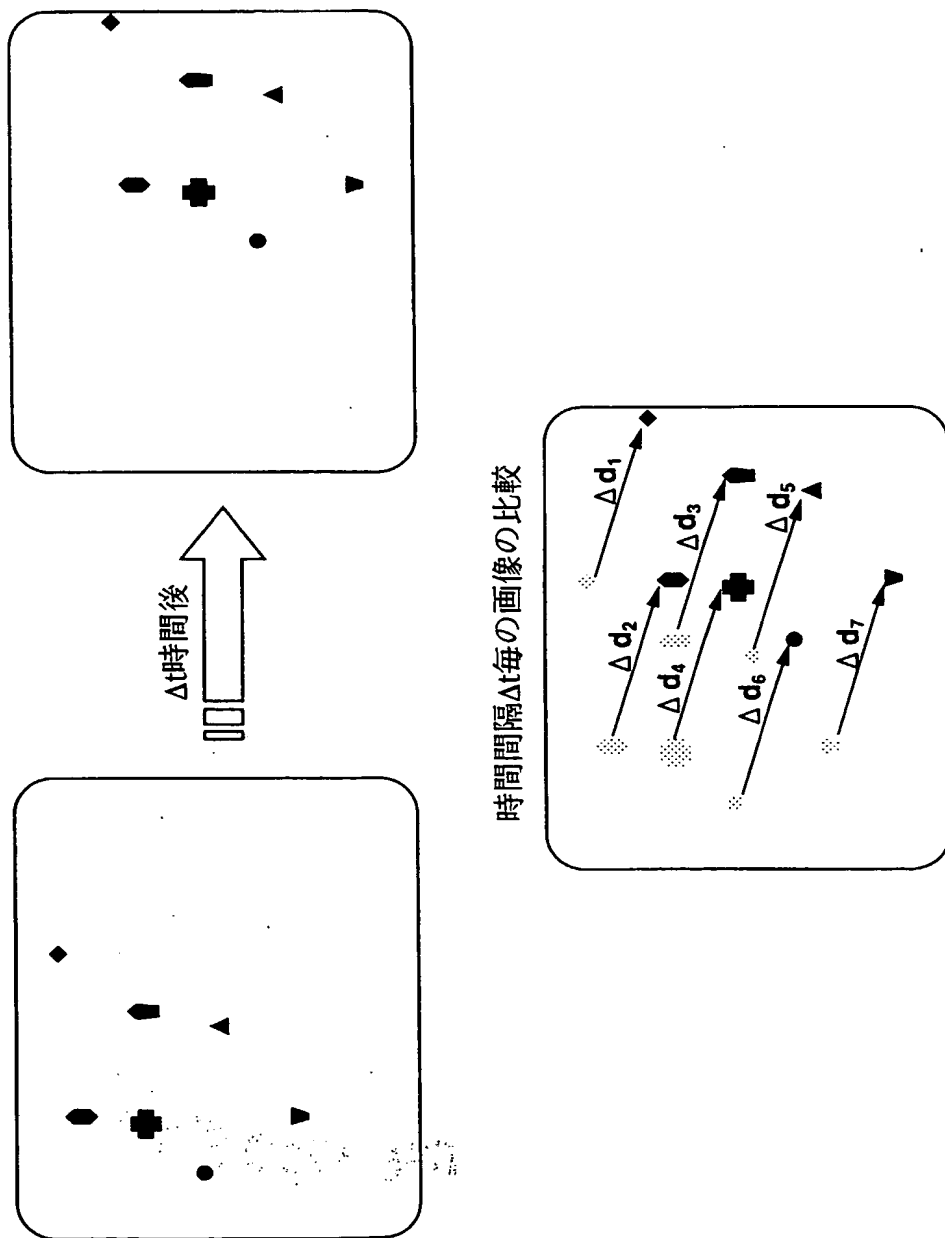
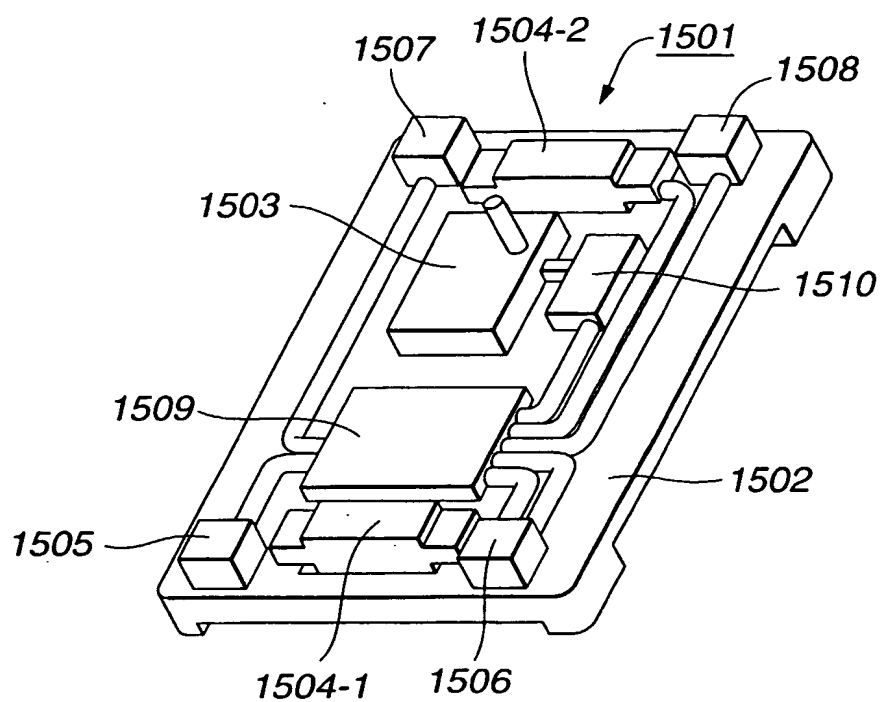


FIG.14

**This Page Blank (uspto)**

13/22



**FIG.15**

***This Page Blank (uspto)***

14/22

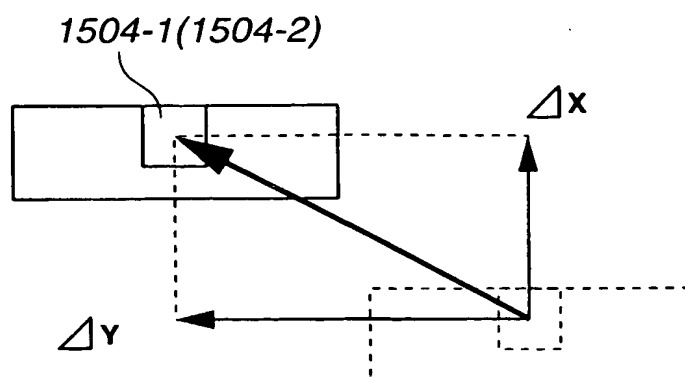


FIG.16

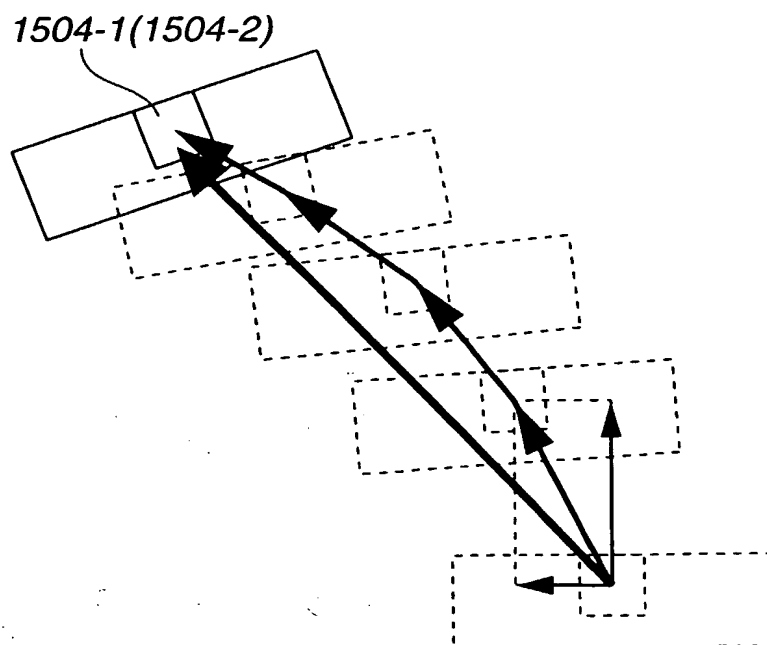


FIG.17



**This Page Blank (uspto)**



15/22

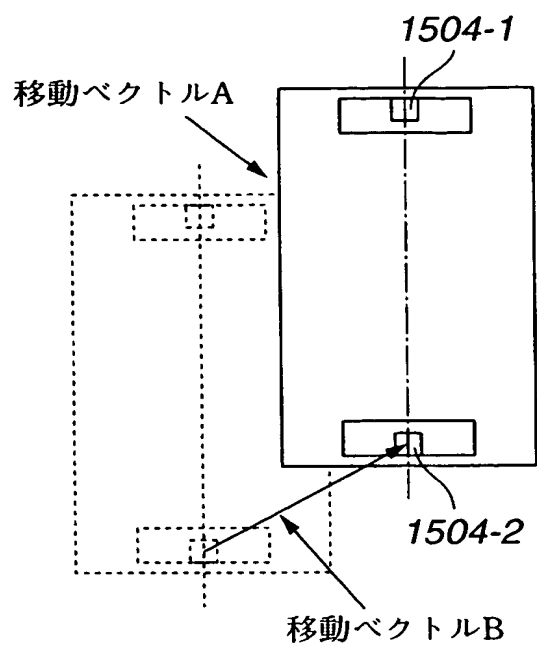


FIG.18

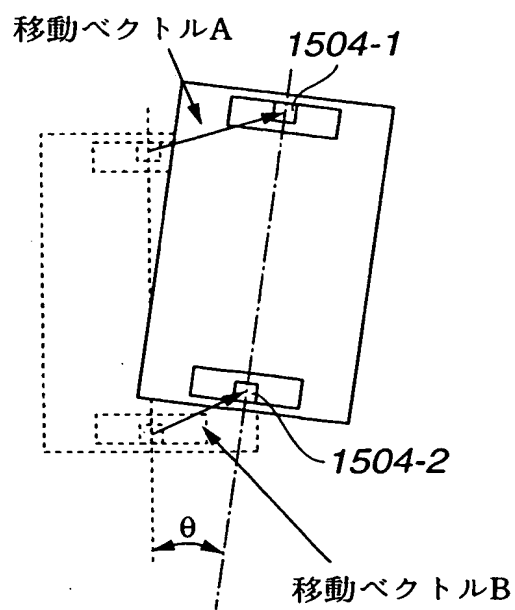
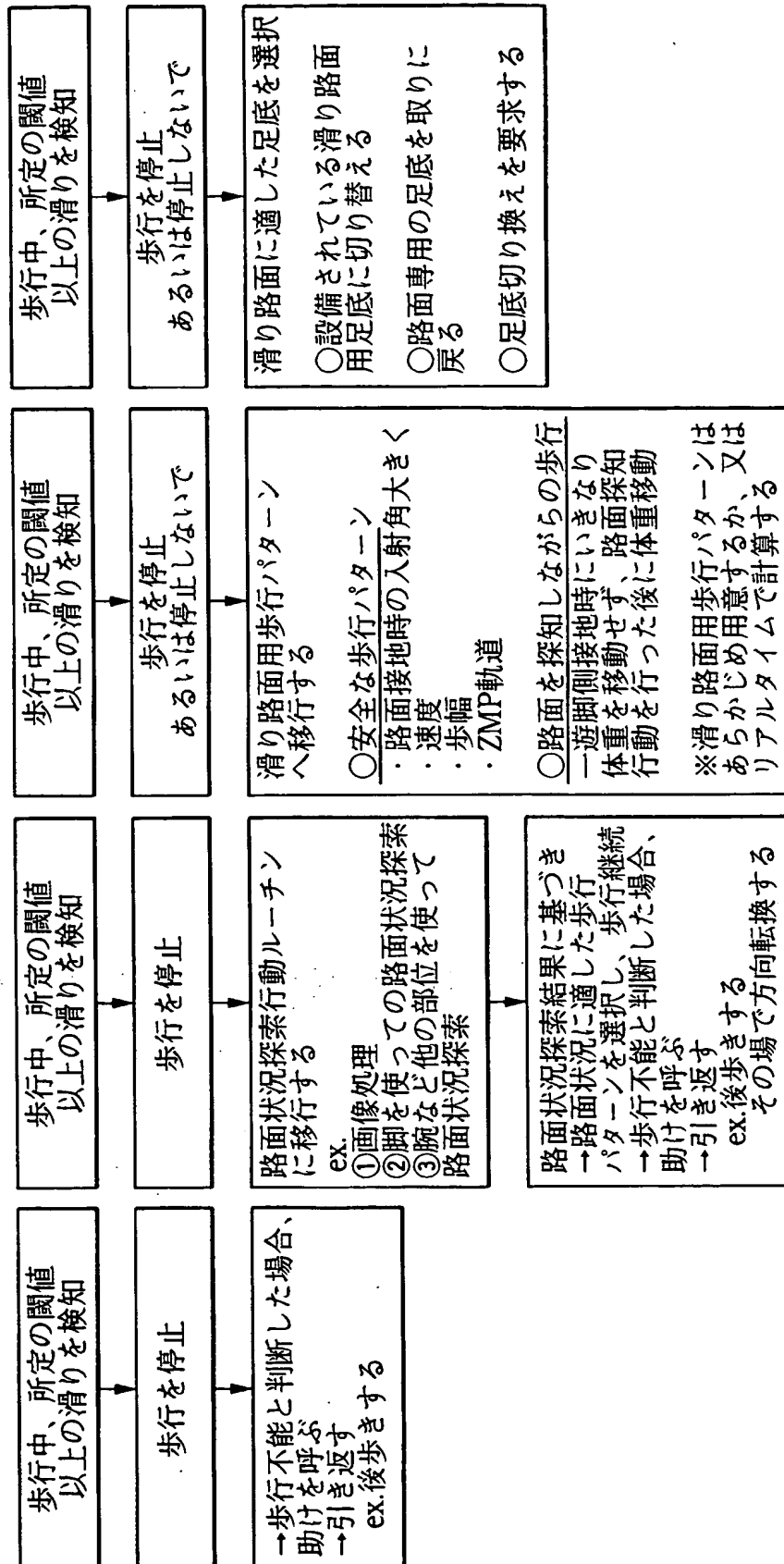


FIG.19

**This Page Blank (uspto)**

16/22



***This Page Blank (uspto)***

17/22

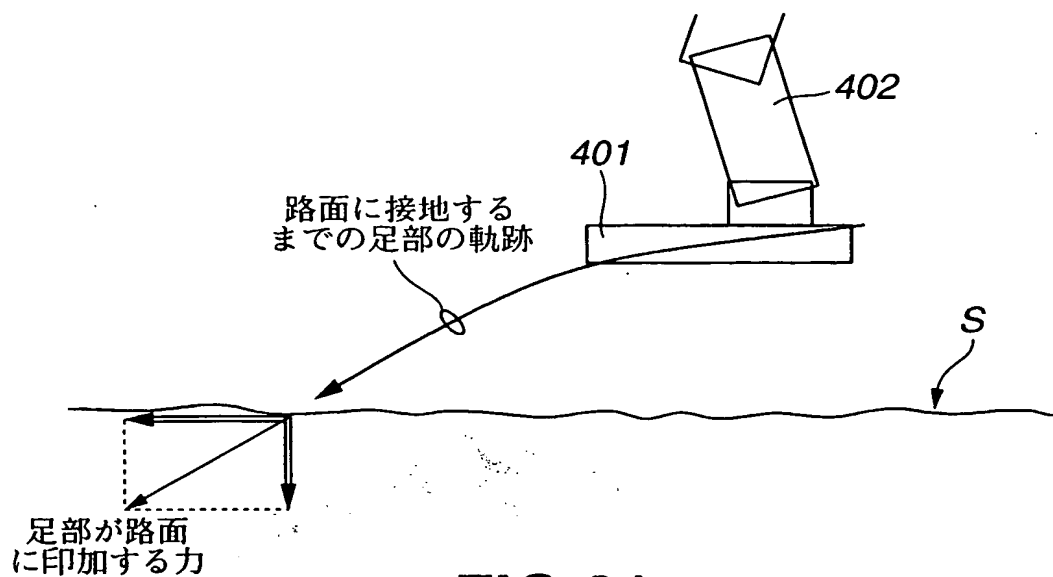


FIG.21

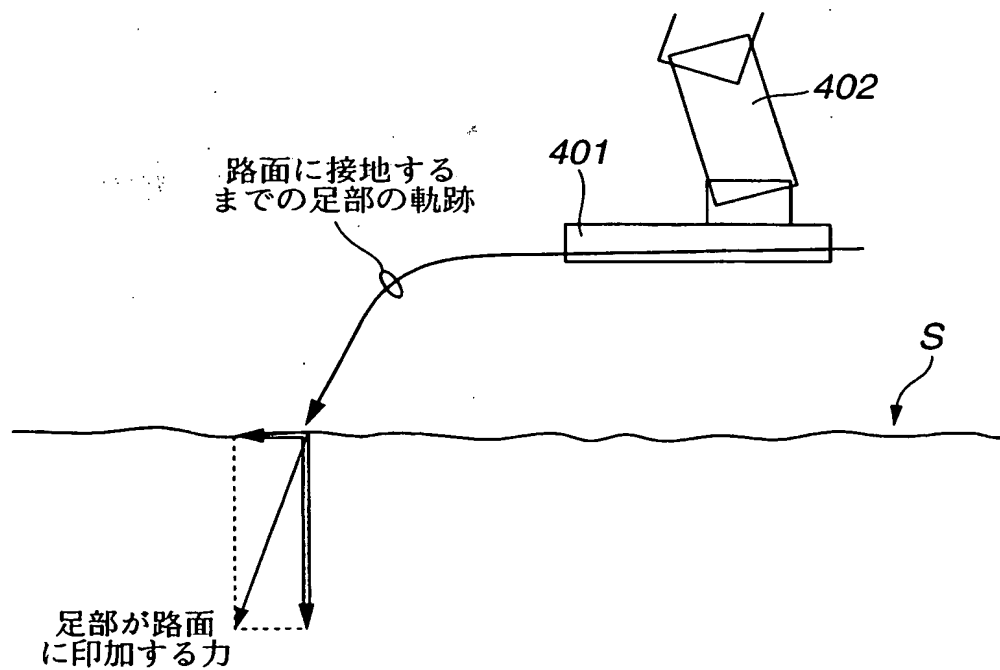


FIG.22

**This Page Blank (uspto)**

18/22

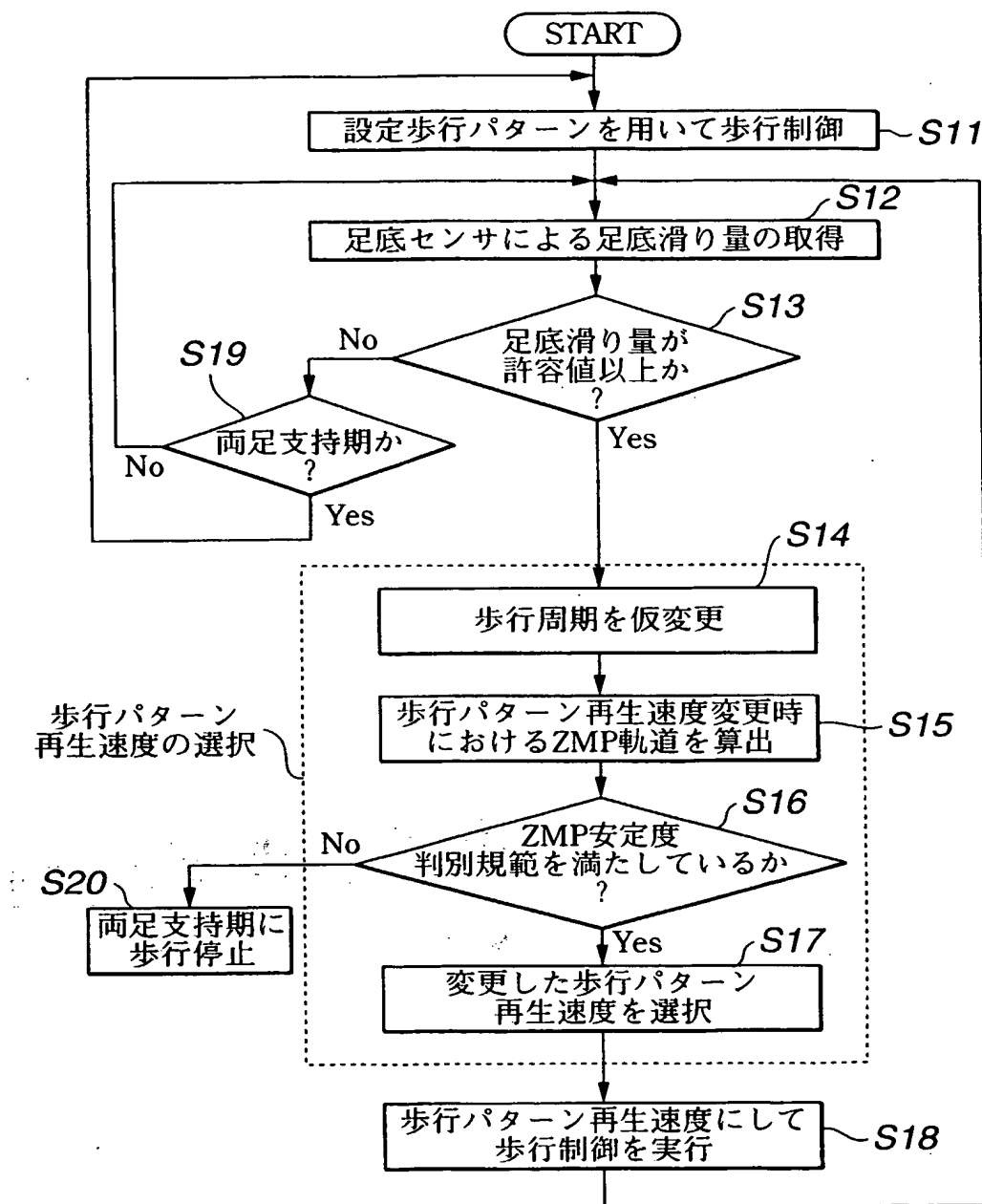


FIG.23

**This Page Blank (uspto)**



19/22

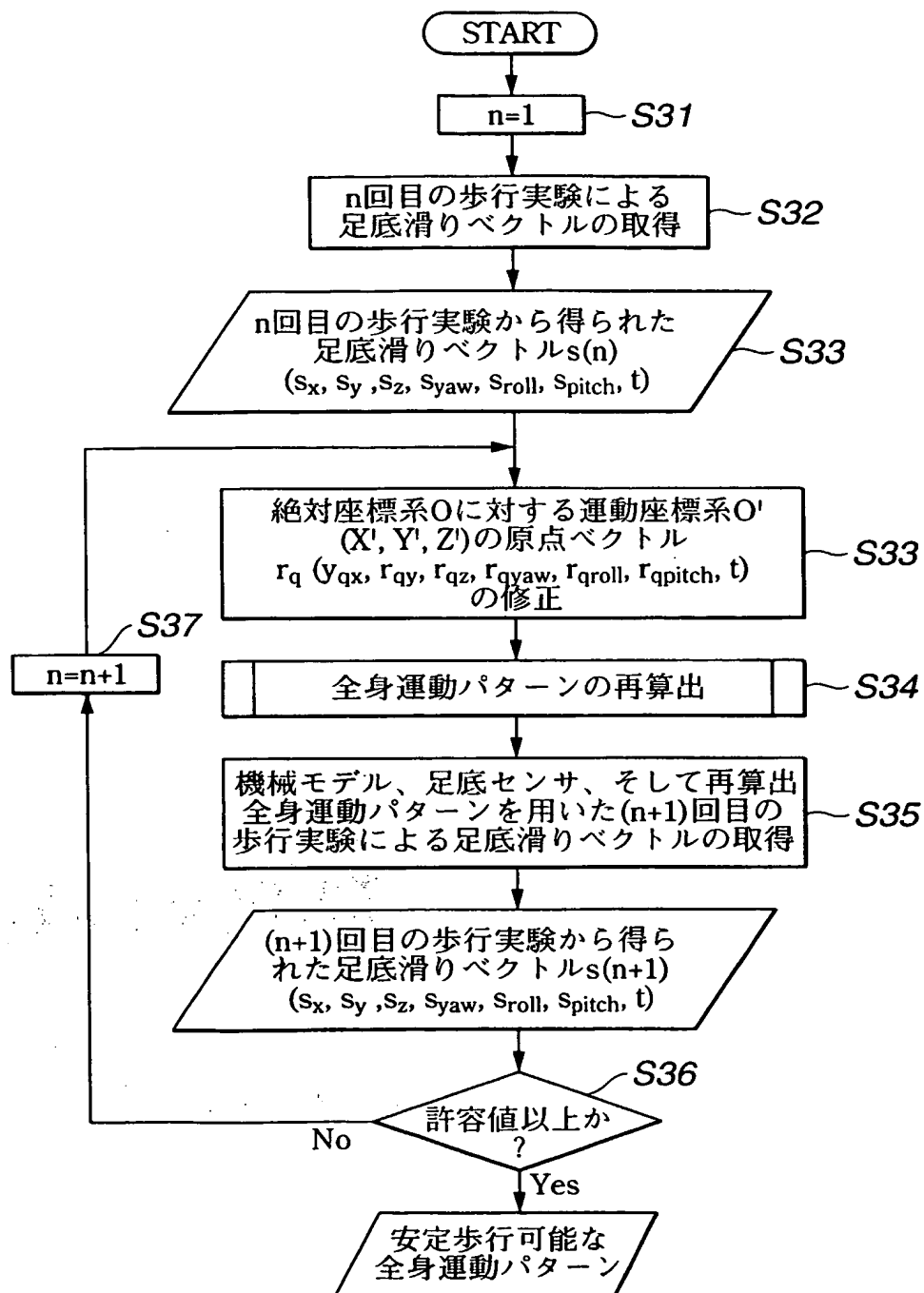


FIG.24

**This Page Blank (uspto)**

20/22

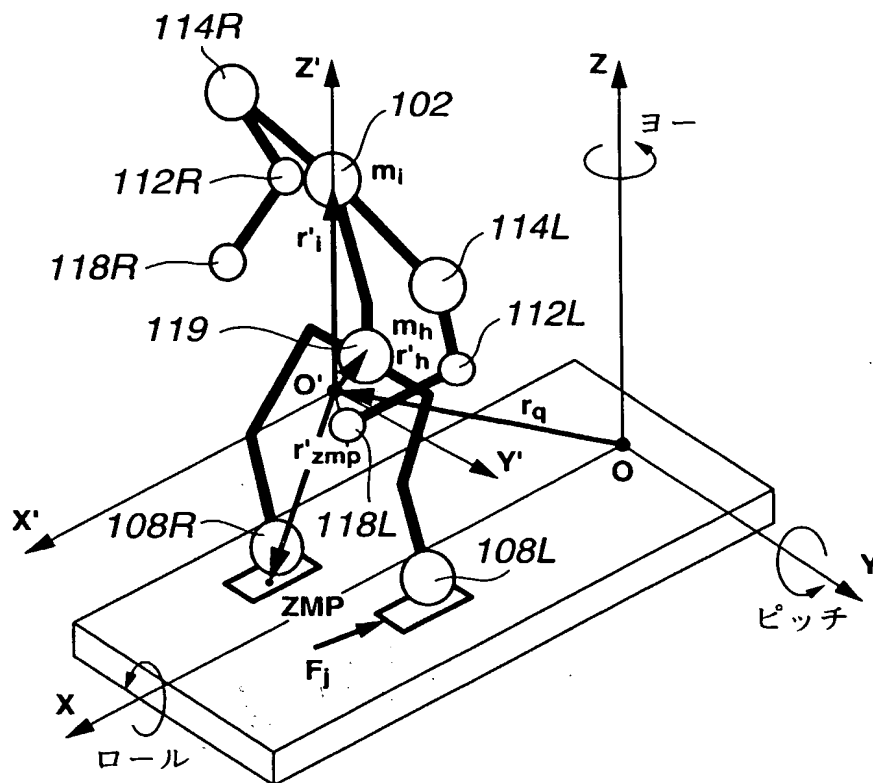


FIG.25

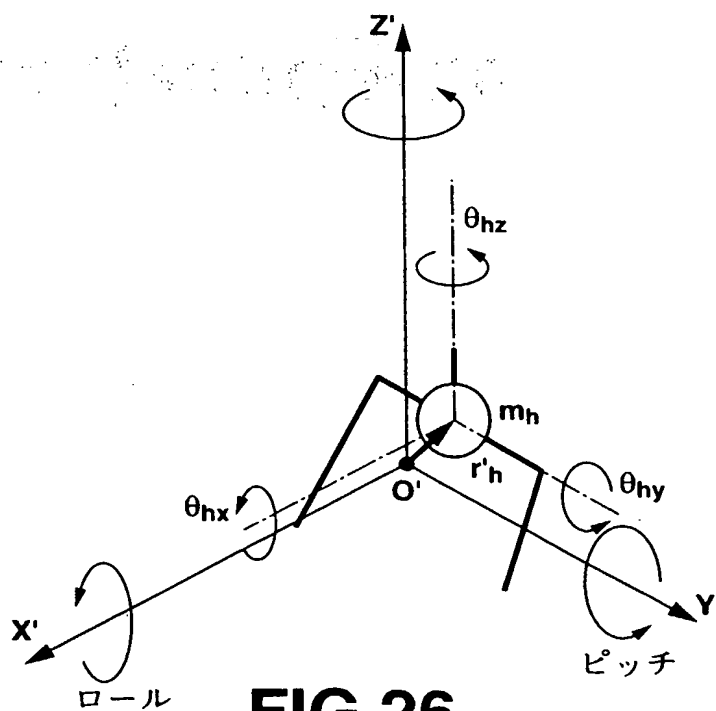


FIG.26

**This Page Blank (uspto)**

21/22

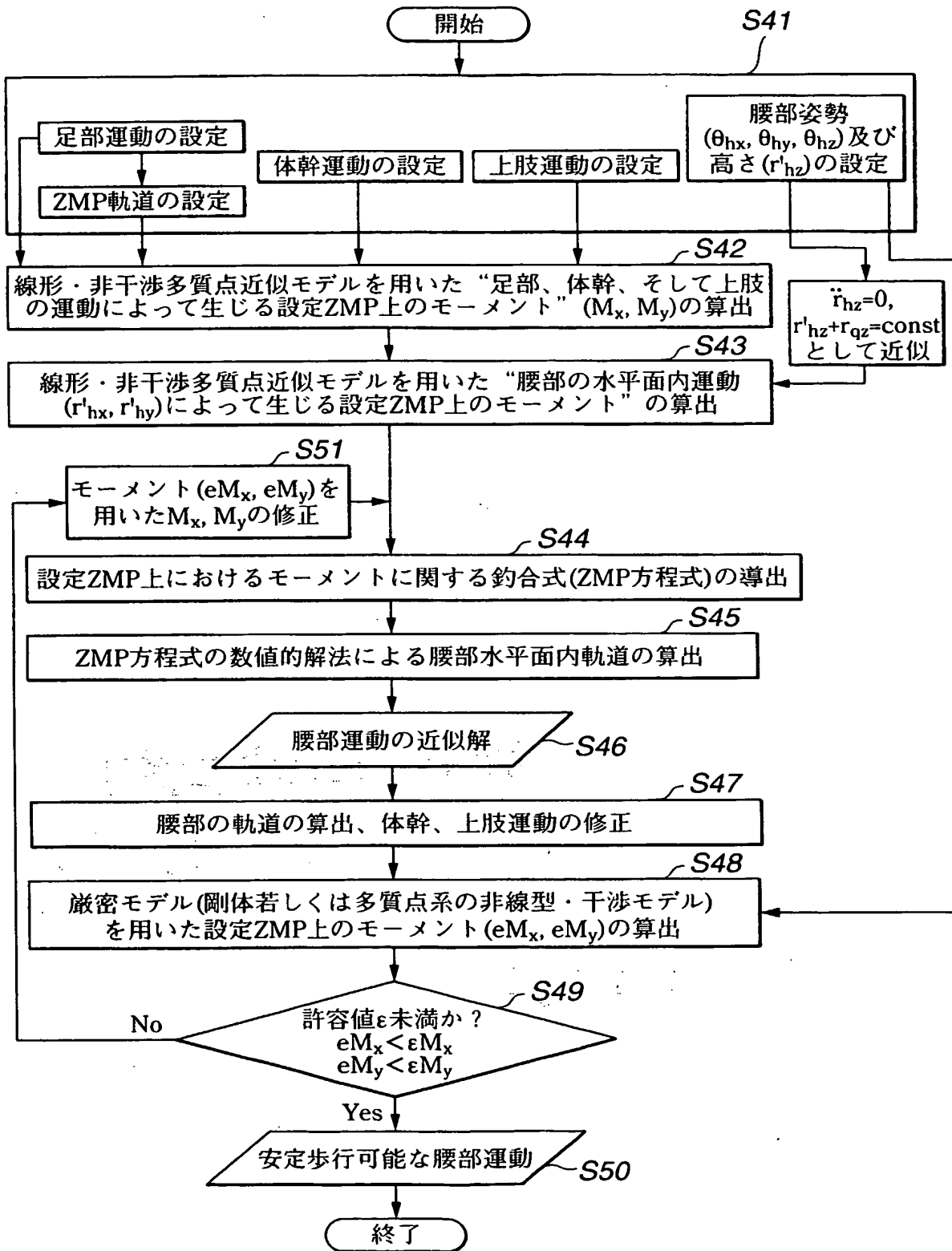
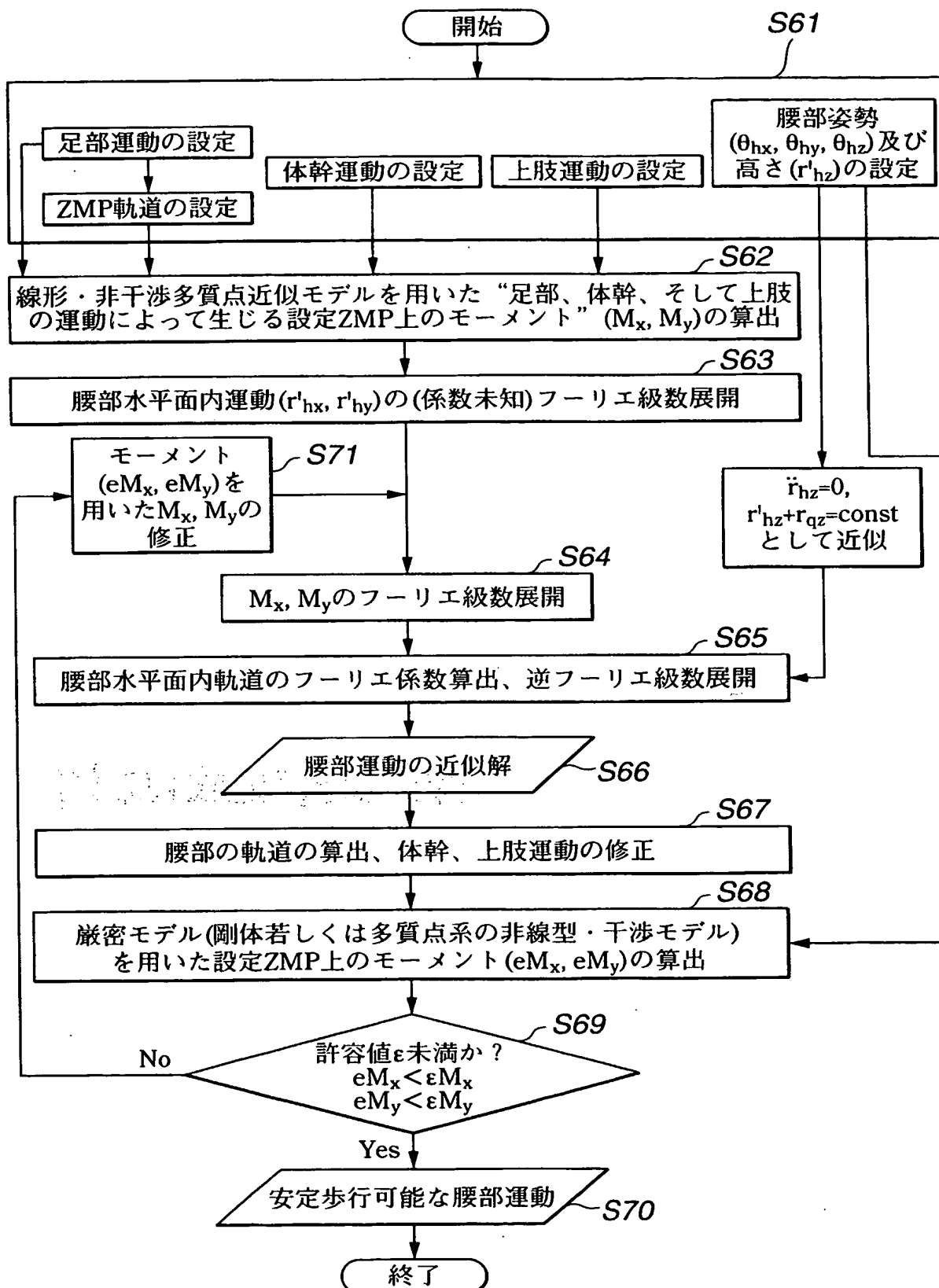


FIG.27

**This Page Blank (uspto)**

**22/22**



**This Page Blank (uspto)**



## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JPO1/02895

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> B25J 5/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>7</sup> B25J 5/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1920-1998年  
日本国公開実用新案公報 1971-1998年  
日本国登録実用新案公報 1994-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	US, 5357433, A1 (本田技研工業株式会社) 18. 10月. 1994 (18. 10. 94) 全文&JP, 5-3183 40, A	1-30
A	US, 5355064, A1 (本田技研工業株式会社) 11. 1 0月. 1994 (11. 10. 94) 全文&JP, 5-24578 0, A	1-30

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

26. 06. 01

国際調査報告の発送日

03.07.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

佐々木 正章



3C

9133

電話番号 03-3581-1101 内線 3324

THIS PAGE BLANK (USPIC)